



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA PODNIKATELSKÁ

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT

ÚSTAV INFORMATIKY

INSTITUTE OF INFORMATICS

**VYUŽITÍ 3D TISKÁREN PRO PROTOTYPOVÁNÍ V
SÍŤOVÉM PROSTŘEDÍ**

USE OF 3D PRINTERS FOR PROTOTYPING IN A NETWORK ENVIRONMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Daniel Svoboda

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Sedlák

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav informatiky
Student: **Daniel Svoboda**
Studijní program: Systémové inženýrství a informatika
Studijní obor: Manažerská informatika
Vedoucí práce: **Ing. Petr Sedlák**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně zadává bakalářskou práci s názvem:

Využití 3D tiskáren pro prototypování v síťovém prostředí

Charakteristika problematiky úkolu:

Úvod
Cíle práce, metody a postupy zpracování
Teoretická východiska práce
Analýza současného stavu
Vlastní návrhy řešení
Závěr
Seznam použité literatury
Přílohy

Cíle, kterých má být dosaženo:

Popsat, jak 3D tisk umožňuje urychlení vývojového procesu včetně porovnání různých značek a různých technologií a porovnání s klasickým vývojovým postupem (zadání výroby jednoho kusu 3. straně).

Dále popsat výhody síťového řešení a ekonomické zhodnocení / porovnání.

Základní literární prameny:

GEBHARDT, A. Understanding additive manufacturing: Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Rapid Manufacturing. Munich: Hanser Publisher, 2011. ISBN 978-3-446-42552-1.

JORDÁN, V. a V. ONDRÁK. Infrastruktura komunikačních systémů I: univerzální kabelážní systémy. 2. vyd. Brno: CERM, Akademické nakladatelství, 2015. ISBN 978-80-214-5115-5.

MAREK, J. Základní části obráběcích strojů. Konstrukce CNC obráběcích strojů. MM Speciál. Praha: MM publishing, s.r.o., 2010. ISBN: 978-80-254-7980-3.

TRULOVE, J. Sítě LAN HW, instalace a zapojení. Praha: Grada Publishing, 2009. ISBN 978-80-2-7-2098-2.

ZEMAN, L. Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně dne 28.2.2021

L. S.

Mgr. Veronika Novotná, Ph.D.
ředitel

doc. Ing. Vojtěch Bartoš, Ph.D.
děkan

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá využitím 3D tisku v procesu prototypování a výroby. Srovnává 3D tisk s klasickými metodami výroby. Popisuje různé metody 3D tisku a různé konstrukce tiskáren. Dále porovnává otevřené systémy se systémy, které jsou uzamčené. Popisuje postup, kterým je možné vytvořit prototypy a následně finální produkty.

Abstract

The bachelor thesis deals with the use of 3D printing in the process of prototyping and production. It compares 3D printing with classic production methods. Describes various 3D printing methods and various printer designs. It also compares open systems with systems that are locked. Describes the procedure by which it is possible to create prototypes and then final products.

Klíčová slova

3D tisk, 3D tiskárna, FDM, SLA, SLS, prototypování, materiály, síťové prostředí, zpracování plastů

Key Words

3D printing, 3D printer, FDM, SLA, SLS, prototyping, materials, network environment, plastics processing

Bibliografická citace

SVOBODA, Daniel. Využití 3D tiskáren pro prototypování v síťovém prostředí [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133743>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, Ústav informatiky. Vedoucí práce Petr Sedlák.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná a že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 14.5.2021

.....

Svoboda Daniel

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu práce, panu Ing. Petru Sedlákoví za cenné rady, konzultace a připomínky při zpracování této bakalářské práce. Velké díky patří také mé rodině a partnerce, kteří mě po celou dobu studia podporovali a stáli při mně.

OBSAH

ÚVOD.....	10
CÍLE PRÁCE, METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ	11
MOTIVACE	12
1 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE	13
1.1 Historie.....	13
1.2 Dělení tiskáren dle metody tisku.....	14
1.2.1 SLA – Stereolithography	14
1.2.2 DLP – Digital Light Processing.....	15
1.2.3 Porovnání SLA a DLP	16
1.2.4 SLS – Selective Laser Sintering	17
1.2.5 PolyJet.....	18
1.2.6 FDM – Fused Deposition Modeling	19
1.3 Vstřikovací lis	24
1.4 CNC obráběcí stroj.....	28
1.5 Popis standardního postupu prototypování	29
2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU	31
2.1 Srovnání nejpoužívanějších materiálů	31
2.1.1 PLA – kyselina polyléčná.....	31
2.1.2 PETG – polyethylentereftalát	31
2.1.3 ABS – akrylonitrilbutadienstyren	31
2.1.4 ASA – akrylonitril-styren-akryl.....	32
2.1.5 Nylon (PA).....	32
2.1.6 Flexibilní materiály	32
2.2 Speciální materiály	33
2.2.1 Moldlay (Wax-Alike)	33

2.3	Srovnání zmíněných materiálů.....	33
2.4	Srovnání jednotlivých typů tiskáren.....	34
2.4.1	Kartézská konstrukce.....	34
2.4.2	Delta kinematika	35
2.4.3	Kostka konstrukce.....	35
2.5	3D tisk z ekonomického pohledu.....	36
2.6	Typy řídicí elektroniky.....	37
2.6.1	8bitová řídicí elektronika	37
2.6.2	32bitová řídicí elektronika	39
2.6.3	Duet3D.....	40
3	VLASTNÍ NÁVRHY ŘEŠENÍ	42
3.1	Ekonomické srovnání cenově dostupné a drahé tiskárny	42
3.1.1	Prusa MK3S+.....	42
3.1.2	Stratasys f170.....	43
3.2	Možnosti zapojení tiskárny do sítě se standardní deskou	47
3.2.1	Raspberry Pi + octoprint	47
3.2.2	Raspberry + mainsail / fluid.....	49
3.3	Vytvoření metodiky postupu při vytváření prototypu.....	50
	ZÁVĚR	57
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	58
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	61
	SEZNAM OBRÁZKŮ	62
	SEZNAM TABULEK.....	64

ÚVOD

Tato bakalářská práce má čtenáře seznámit s problematikou 3D tisku a jeho využití v rámci prototypování a výroby. S procesem prototypování se setkáváme ve všech odvětvích průmyslu, a to nejen strojního, ale například i softwarového. Jedná se o proces vývoje nového produktu. Cílem společnosti je v co nejkratším možném čase a co nejlevněji vyrobit finální produkt. Ve strojní výrobě se využívají primárně konvenční metody výroby, jako je například strojní obrábění. Mnoho firem se s 3D tiskem neseškalo a neví o možném potenciálu využití této technologie.

V rámci bakalářské práce popíšu různé metody prototypování a výroby. Zaměřím se primárně na 3D tisk, ale z důvodu porovnání s ostatními metodami nastíním i konvenční metody. Srovnám různé konstrukce tiskáren a vyhodnotím, které mají výhody oproti ostatním. Popíšu různé firmwary, které tiskárny využívají. Také uvedu možnosti, jakými je možné vytvořit dohledový systém pro jakoukoliv tiskárnu a jaká rizika s tímto řešením vznikají a jak se jim dá předejít. Dále provedu ekonomické srovnání cenově dostupné tiskárny a tiskárny s cenou přesahující půl milionu korun a provedu ekonomické vyhodnocení, které by mělo vést ke správné volbě tiskárny v případě pořizování stroje do společnosti. V práci také popíšu metodiku procesu prototypování a výroby s využitím 3D tisku.

CÍLE PRÁCE, METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

Cílem práce je popsat, jak je možné 3D tisk využít v prototypování, popřípadě v samotné výrobě.

Srovnám výrobu prototypu konvenční metodou a metodou 3D tisku, kdy je možné zvolit vhodnou metodu 3D tisku pro konkrétní řešení.

Nejdříve je nutné seznámit se s teoretickými východisky, které je potřeba znát pro správné pochopení principu 3D tisku a jeho následném využití v praxi. Tato východiska uvedu převážně z vlastních zkušeností, které jsem nasbíral při práci s 3D tiskárnami.

Na teoretických základech postavím praktickou část své bakalářské práce, která pojednává a využití 3D tiskáren a různých materiálů pro výrobu prototypů, popřípadě finálních výrobků.

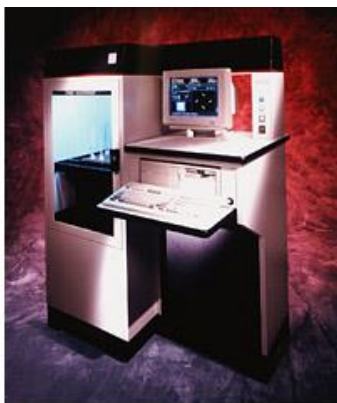
MOTIVACE

Téma této bakalářské práce jsem si vybral, protože tuto technologii využívám a vidím v ní velký potenciál, jak usnadnit malosériovou výrobu, výrobu prototypů nebo modelů pro odlévání z kovu. S 3D tiskem jsem se setkal poprvé zhruba v roce 2015, kdy jsem začal tisknout na 3D tiskárně od firmy 3D Systems, konkrétně se jednalo o model Cube Pro Trio. Jednalo se o tiskárnu konstrukce kostka s uzavřeným tiskovým prostorem a tiskovou hlavou s třemi hotendy. Velkou nevýhodou bylo to, že celý tento systém je uzavřený, tím je myšleno, že řídicí elektronika tiskárny je uzamčena a spolupracuje pouze s dodaným softwarem. Další velkou nevýhodou je to, že v tiskárně je třeba používat materiál dodávaný právě 3D Systems. Jednalo se o relativně kvalitní tiskárnu, ale její celý potenciál byl snížen téměř na nulu právě zmiňovanými mínusy. Tyto negativní vlastnosti vedly k tomu, že jsem si postupem času pořídil jiné tiskárny. Začal jsem tiskárny opravovat, vylepšovat a postupně jsem získal zkušenosti, které vedly k získání pracovní pozice v oblasti 3D tisku. V roce 2018 jsem se stal součástí týmu jedné společnosti, která 3D tiskárny vyrábí. Moje pozice spočívá v testování nových materiálů, tvorbě modelů pro zákazníky nebo tištění dodaných modelů na zakázku. Dále mám na starost instalace tiskáren u zákazníků a následnou vzdálenou podporu. Pokud u zákazníků vznikne takový problém, který vyžaduje menší servisní zásah a dá se vyřešit výměnou dílu na místě, tak provádím servis i u zákazníků.

1 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE

1.1 Historie

Počátky 3D tisku začínají v druhé polovině 20. století. Chuck Hull si v roce 1986 nechal patentovat technologii stereo litografie. Tuto technologii popíšu v dalších kapitolách. V roce 1980 se Hideo Kodama pokusil také podat patent na tuto technologii. Na konci 90. let Chuck Hull založil novou firmu 3D Systems, se kterou vytvořil první stroj, který dokázal tisknout ve třech rozměrech. Tomuto systému se ještě neříkalo 3D tiskárna, ale metoda SLA se stala základem pro vývoj dalších zařízení, až k dnešním 3D tiskárnám a CNC strojům. Tiskárna SLA-1 byla testována pouze beta zákazníky a po provedených vylepšeních a uvedení SLA 250, byla tato technologie nabídnuta široké veřejnosti. („Historie 3D tisku”, 2001)



Obrázek 1 SLA 250

(„SLA 250”, b.r.)

S postupem času se začaly objevovat nové technologie jako je již dnes známá FDM technologie, která využívá termoplastické materiály v podobě struny, nebo SLS technologie, která využívá principu CO₂ laseru, kterým spéká prášek.

Samotný pojem 3D tiskárna pochází z druhé poloviny 90. let.

Mezi největší výrobce 3D tiskáren používaných v průmyslovém prostředí jsou Stratasys a již zmiňovaná firma 3D Systems. („Historie 3D tisku”, 2001)

Mezi výrobce komerčních 3D tiskáren v České republice patří k nejznámějším Prusa Research a.s., který vyrábí tiskárny typické kartézské konstrukce nebo Trilab Group, s.r.o., která vyrábí tiskárny s delta kinematikou.

1.2 Dělení tiskáren dle metody tisku

3D tiskárny je možné rozdělit do kategorií podle metody samotného tisku. Mezi nejznámější a nejvyužívanější metody 3D tisku můžeme zařadit:

- SLA „Stereolithography“ – původní koncept 3D tisku, funguje na principu vytvrzování pryskyřice
- DLP „Digital Light Processing“ – aktuálně se rozšiřující technologie, která vychází z principu SLA, ale k vytvrzování pryskyřice využívá LCD displej a matici UV LED
- SLS „Selective Laser Sintering“ – jak už název napovídá, technologie využívá laser ke spojování materiálu, nejčastěji nylonu
- PolyJet – dalo by se říct, že využívá a spojuje metody FDM a SLA
- FDM „Fused Deposition Modeling“ – jedná se o nejznámější, nejdostupnější a nejlevnější metodu (Ahart, 2019)

1.2.1 SLA – Stereolithography

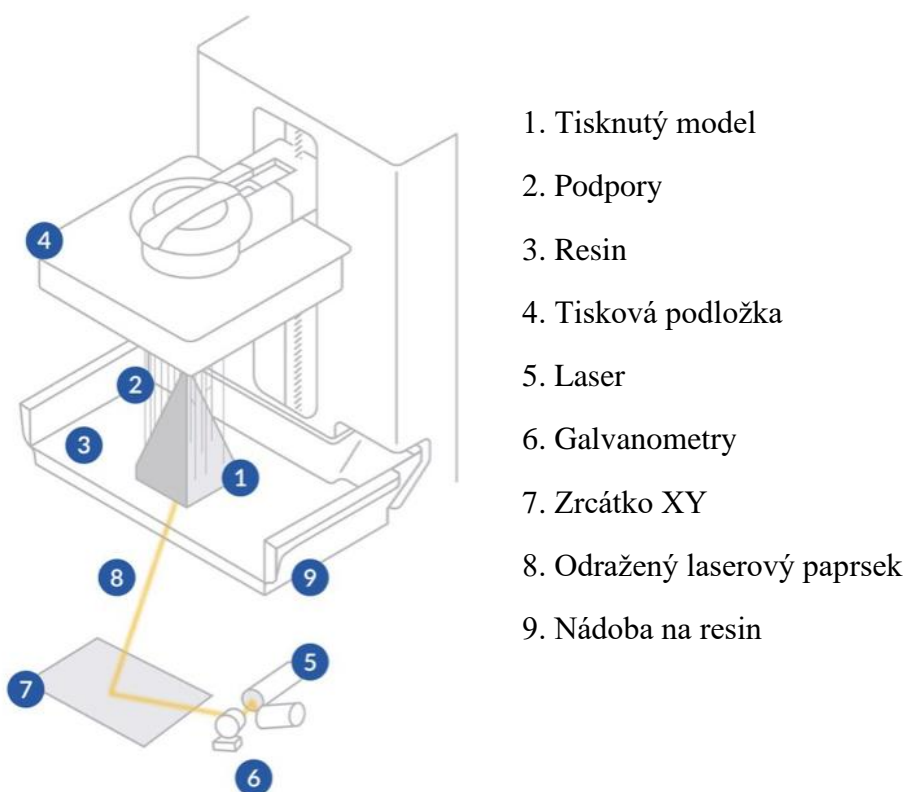
Ke správnému pochopení principu SLA tisku, je nutné představit základní konstrukci těchto tiskáren. Tiskárna se skládá z několika částí, mezi které patří základna, nádoba na UV pryskyřici (resin), tisková platforma, osa Z, kryt a případně zásobník na UV pryskyřici, který během tisku doplňuje resin do nádoby.

V základně se ukrývá hned několik součástí, které představují samotný princip této metody tisku. Nalezneme zde zdroj světla, v tomto případě laser, galvanometry a zrcátko, které rozmítá paprsek v osách X a Y.

Nad základnou se nachází nádoba, do které se vlévá resin. Tisková podložka, která se pohybuje na ose Z je spouštěna do této nádoby a je téměř plně přitlačena k mezní vrstvě, která je mezi základnou a tiskovou podložkou. Tato mezní vrstva je průhledná a musí mít co nejlepší optické vlastnosti, protože skrze ni prochází paprsky laseru, které vytvrzují resin na podložce. Podložka je po ozáření zvednuta směrem nahoru a resin má tak možnost znovu vytvořit souvislou vrstvu, do které je podložka opět ponořena a znovu ozářena. Takto vznikají jednotlivé vrstvy, které následně vytvoří požadovaný model. Je nutné podotknout, že podložka postupně vyjíždí nahoru, což je odlišné od dalších typů

tiskáren, které budu dále rozebírat. Při přípravě modelu je na to nutné myslet a model tomu přizpůsobit, popřípadě ho správně orientovat. V tomto typu tiskáren se pohybujeme ve výšce jednotlivých vrstev v řádu setin milimetrů, konkrétně 0,01 – 0,15 mm rozlišení v ose Z.

Jak vyplynulo z popisu konstrukce, tak tento typ tiskáren využívá pohyb pouze v jedné ose, a to v ose Z. Jde o přesnou metodu tisku a jelikož se jedná o jedinou pohyblivou část celého systému, je potřeba, aby tento pohyb byl co nejpřesnější a nejpevnější. K pohonu se tedy využívá kuličkový šroub, který posouvá vozík na lineárním vedení.



Obrázek 2 Konstrukce SLA tiskárny
(„Konstrukce SLA tiskárny”, b.r.)

1.2.2 DLP – Digital Light Processing

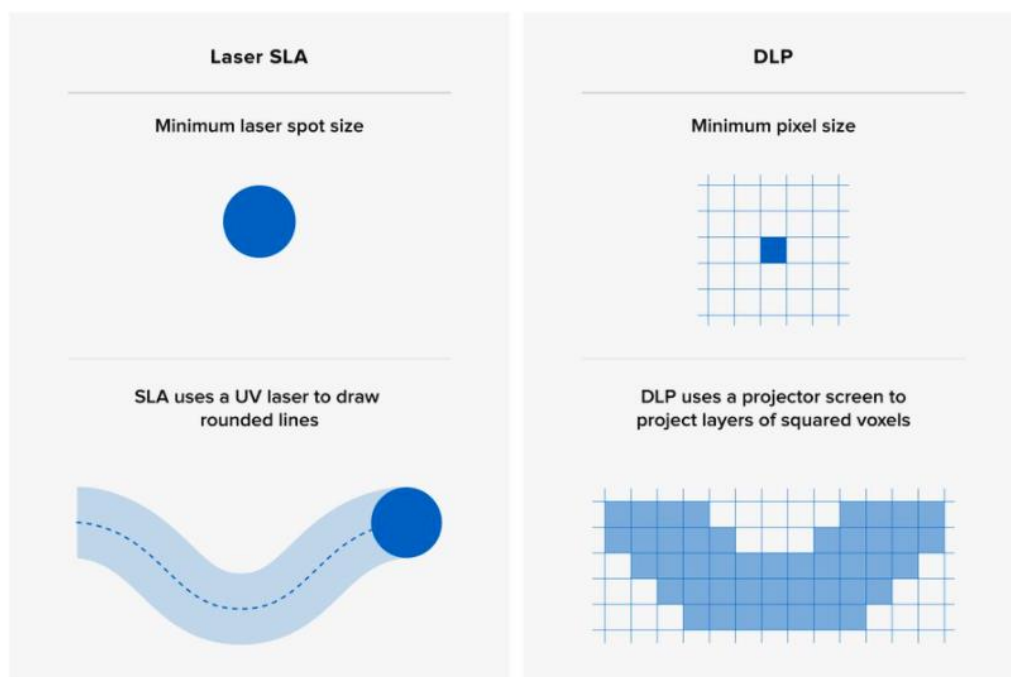
Tento typ tiskáren vychází z konstrukce tiskárny SLA, ale namísto laseru využívá k vytvrzování resinu matici UV LED, které osvětlují LCD displej, který vytváří aktuální 2D vrstvu z požadovaného modelu. Díky tomu, že tiskárna vytvrzuje celou požadovanou plochu najednou, dá se říct, že je rychlejší než tiskárna SLA, ovšem na úkor kvality a

životnosti displeje. Udávaná životnost displejů je v řádu několika stovek hodin. Aktuálně se objevují na trhu takzvané monochromatické displeje, u kterých je životnost výrazně vyšší, a to až v řádu několika tisíců hodin. Rozlišení DLP tiskárny odpovídá rozlišení použitého displeje. Jako příklad si vezmeme tiskárnu Mono X čínského výrobce Anycubic. Zde byl použit monochromatický displej s rozlišením 3840 * 2400 pixelů, to znamená, že tiskárna v osách XY dosáhne nejvyššího rozlišení právě rozlišení tohoto displeje.

1.2.3 Porovnání SLA a DLP

Z principu fungování obou metod vyplývá, že SLA tiskárny jsou přesnější a výtisky mají hladší plochy, které jsou zakřivené. Tento rozdíl vzniká díky tomu, že u SLA máme pouze jeden přesný zdroj světla, který je zrcátkem rozmítán po celé ploše tiskové podložky, kdežto u DLP se obraz rozloží na jednotlivé pixely displeje. Tím pádem vznikají ostré hrany. Rozlišení v osách XY je pro DLP 0,035 – 0,1 mm a SLA, kde se velikost tečky zaostřeného laseru pohybuje okolo 0,085 mm dokáže díky jemnému pohybování tečkou docílit konzistentně 0,025 mm.

Porovnání můžeme vidět na obrázku 3



Obrázek 3 Porovnání rozlišení SLA a DLP

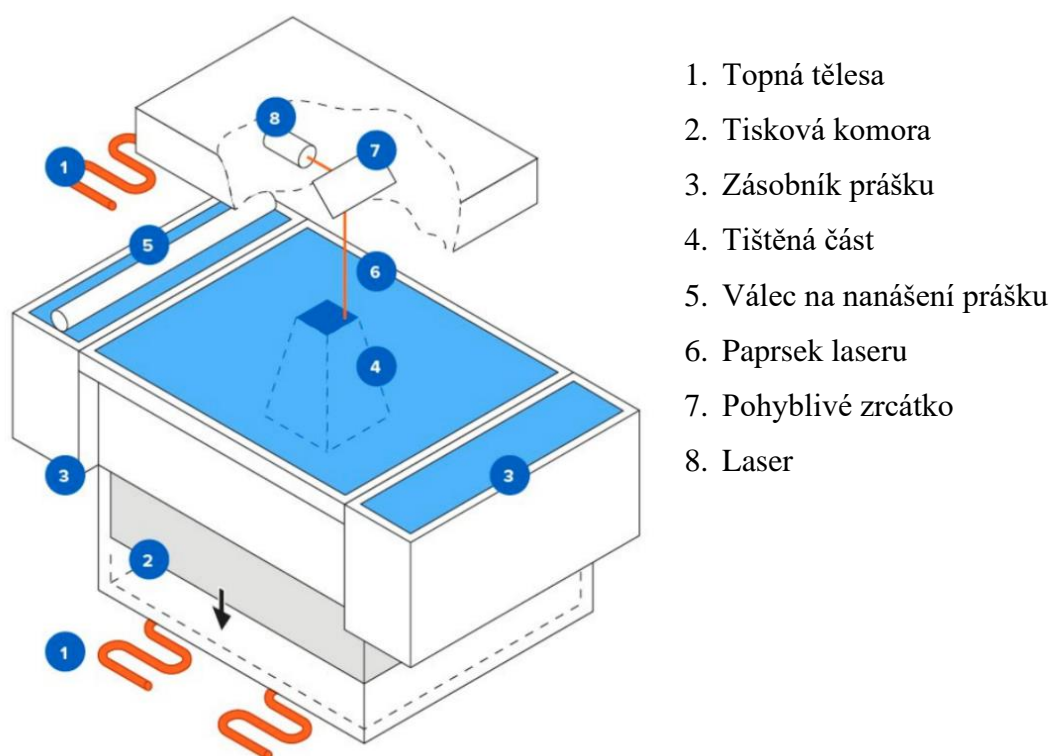
(„Rozlišení SLA a DLP”, b.r.)

Obě metody mohou využívat jako stavební materiál různé typy resinů, které mají různé mechanické vlastnosti. Standardně se používají materiály, které mají podobné vlastnosti jako ABS, popřípadě materiály, které jsou průsvitné atd.

1.2.4 SLS – Selective Laser Sintering

SLS tiskárny fungují na podobném principu jako tiskárny SLA, avšak jako stavební materiál používají prášek.

Jejich konstrukci vysvětlím pomocí obrázku 4.



Obrázek 4 Konstrukce SLS tiskárny
(„Konstrukce SLS tiskárny”, b.r.)

Celý proces SLS tisku spočívá ve směřování paprsku CO_2 laseru směrem k podložce pomocí zrcátek. Tisk začíná tak, že je nanesena tenká souvislá vrstva prášku na stavební podložku. Dále je pomocí laseru spečena ta oblast, která je vyžadována. Následně podložka se spečenou vrstvou sjede buďto směrem dolů, nebo vyjede směrem nahoru o zvolenou výšku vrstvy. Směr, kterým se podložka bude pohybovat se odvíjí od konstrukce konkrétní tiskárny. Po vykonání tohoto pohybu, nanese válec novou souvislou

vrstvu prášku a proces spékání a nanášení nových vrstev se opakuje, dokud není vytištěn požadovaný 3D objekt. Finální výrobek je nutné zbavit nespečeného prášku, který se může zachytit v záhybech nebo dutinách modelu.

Jako stavební materiál se nejčastěji používá nylon ve formě prášku, ať už čistý nebo s různými příměsmi. Vytiskuté díly jsou pevné, přesné a je možné je využít přímo pro koncové použití.

Obdobnou metodu lze využít i na kovové prášky. Tyto metody nazýváme LMF (Laser Metal Fusion) nebo SLM (Selective Laser Melting).

1.2.5 PolyJet

PolyJet patří mezi méně známé metody 3D tisku. Je to z toho důvodu, že se jedná o velmi drahé stroje a využití plně barevných výtisků není většinou vyžadována.

Jedná se o další metodu 3D tisku, která se zásadně odlišuje od ostatních. Princip vychází z vytvrzování kapiček fotopolymeru pomocí UV světla. Tiskárna disponuje několika tryskami, kterými rozprašuje kapičky fotopolymeru na tiskovou podložku. Tyto kapičky jsou okamžitě vytvrzovány. Díky několika tryskám a možnostím míchání barev dohromady, je možné tisknout prakticky v plném barevném spektru. Tato metoda také umožňuje kombinaci materiálů o různých tvrdostech. Standardně se zde vyskytuje i tryska, která rozprašuje vodou rozpustný materiál, který slouží k vytváření podpor.



1. Tisková hlava
2. UV světlo
3. Tištěný model
4. Podpůrný materiál
5. Tisková podložka

Obrázek 5 Konstrukce PolyJet
(„Konstrukce PolyJet”, b.r.)

1.2.6 FDM – Fused Deposition Modeling

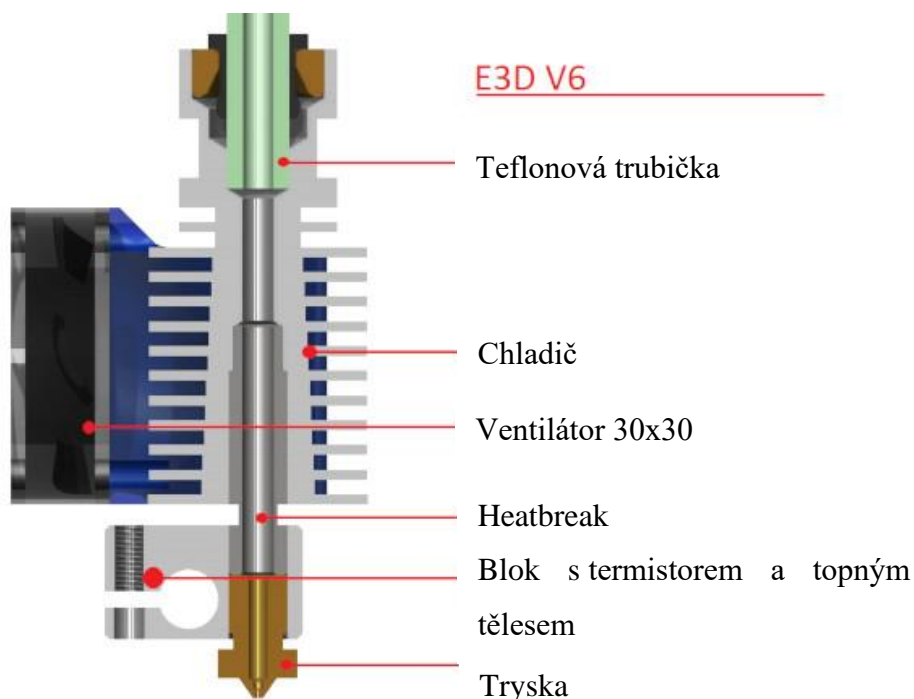
Jedná se o nejrozšířenější metodu 3D tisku. Tato metoda využívá jako materiál tiskovou strunu, většinou o průměru 1,75 mm plus výrobní toleranci, kterou deklaruje konkrétní výrobce filamentu. Tento materiál se prodává navinutý na cívkách v různých hmotnostech. Standardní hmotnost samotného materiálu je 1 kg plus hmotnost cívky. Výběr materiálů se postupem času rozšířil na nejrozmanitější typy. Mezi nejpoužívanější patří například PLA, PETG, ABS, Nylon, různé typy flexibilních materiálů nebo speciální materiály s různými příměsmi, jako je například dřevěný filament Timberfill od českého výrobce Fillamentum. Nedávno tato společnost uvedla na trh nový typ materiálu a to NonOilen, který má vysokou teplotní odolnost, je zdravotně nezávadný a je 100% rozložitelný v průmyslovém kompostu.

Právě teplotní odolnost, je vzhledem k principu fungování tohoto typu tiskáren složitě implementovatelná vlastnost materiálu, kdy většina teplotně odolných materiálů je těžce tisknutelná a vyžaduje speciální podmínky. Materiál NonOilen však slibuje jednoduché podmínky tisku, které se dají přirovnat například k podmínkám, při kterých je tištěné PLA. K dalším specifickým materiálům se dostanu později.



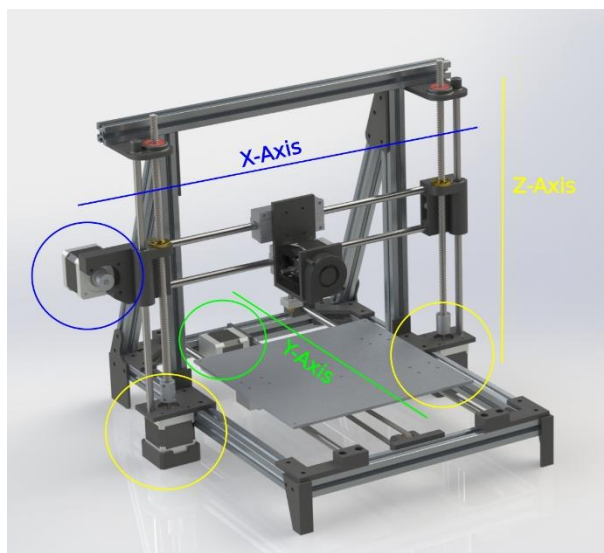
Obrázek 6 Materiál pro FDM
(„Příklad FDM materiálů”, b.r.)

Jak už bylo zmíněno, tak tyto tiskárny používají k tisku plastovou strunu, kterou taví v tiskové hlavě, která funguje na stejném principu u většiny strojů. Primární částí hlavy je tzv. Hotend. Mezi nejrozšířenější patří typ V6 od společnosti E3D. V této části dochází právě k přetváření struny a z průměru 1,75 mm je vytvořen průměr, který je závislý na průměru trysky. Nejčastěji se používá tryska 0,4 mm, protože dokáže zachovat dostatečný detail vzhledem k době tisku.



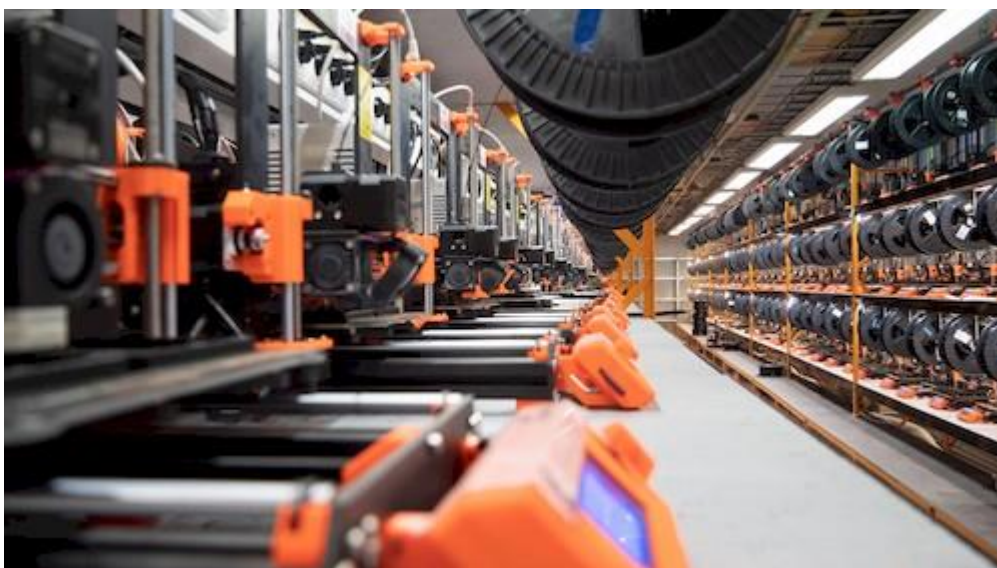
Obrázek 7 Konstrukce E3D V6
(„Konstrukce E3D V6”, 2020)

FDM tiskárny využívají různých mechanik pohybu a jsou různě konstruovány. Mezi nejznámější a nejpoužívanější patří konstrukce kartézská. Při této konstrukci se nejčastěji pohybuje tisková hlava v ose X a Z, a tisková podložka zajišťuje pohyb v ose Y. Tyto pohyby jsou na sobě nezávislé a na jejich vykonání se podílí separátní krokové motory. Pohyb v ose Z lze realizovat buďto jedním nebo dvěma motory.



Obrázek 8 Kinematika – kartézský typ
(„Kinematika - kartézský typ”, b.r.)

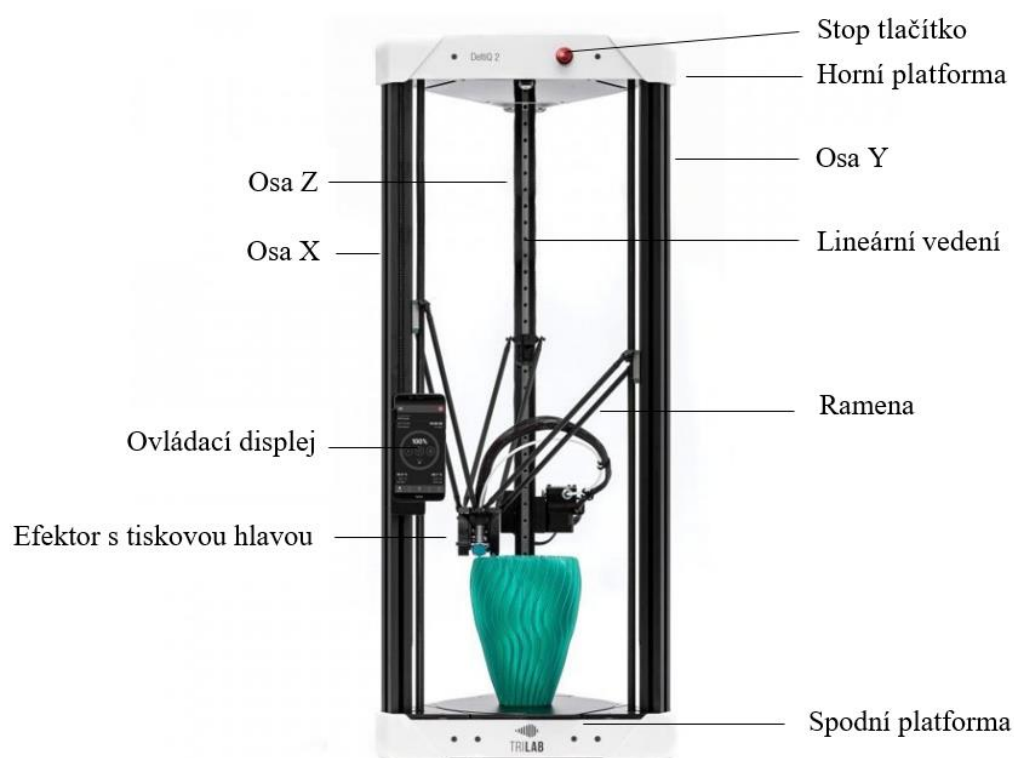
Tuto konstrukci používá na svých tiskárnách Prusa Research, který patří mezi nejznámější výrobce FDM tiskáren na trhu. Tiskárny vyrábí v Praze, a to tím způsobem, že tiskárny tisknou další díly pro tiskárny. Jeho tisková farma aktuálně obsahuje něco kolem 500 kusů strojů. Tento způsob výroby zajišťuje testování tiskáren v provozu a při sebemenší změně v designu tiskáren je jednoduché do výroby poslat aktualizované díly, jelikož není potřeba vyrábět například nové formy.



Obrázek 9 Tisková farma Prusa Research
(„Tisková farma Prusa Research”, b.r.)

1.2.6.1 Delta tiskárny

Konstrukce delta je diametrálně odlišná od všech ostatních tiskáren. Konstrukce je tvořená dvěma platformami a třemi, většinou hliníkovými profily, které tyto platformy spojují. Spodní platforma slouží jako základna a tisková plocha. V horní platformě se většinou nachází řídicí elektronika. Tisková hlava je uchycena na tzv. efektoru. Efektor je zavěšen na třech ramenech, které se skládají z šesti většinou karbonových trubic. Ramena jsou uchycena k vozíkům, které se pohybují na profilech, a to pouze ve vertikálním směru. Vozíky se mohou pohybovat přímo v profilech za pomoci speciálních koleček, tzv. „v-slot wheels“. Tento způsob uložení vozíků a následný pohyb, je závislý nejen na kvalitě koleček, ale také na kvalitě povrchu samotných profilů. Lepší a přesnější způsob je připevnění lineárních pojezdů na hliníkové profily. Tím je docíleno požadované přesnosti a tuhosti. Vzhledem k faktu, že jednotlivé vozíky s rameny se pohybují pouze ve vertikálním směru, tedy v ose Z, je k pohybu v osách X a Y nutné zapojit všechny tři vozíky. Delty využívají k určení přesné polohy efektoru trigonometrické funkce, a tak je pohyb složitější na provedení a komplikovanější na výpočet pro řídicí elektroniku.



Obrázek 10 Delta tiskárna DeltiQ 2 Plus
(„DeltiQ 2 Plus“, b.r.)

1.2.6.2 Konstrukce kostka

Jak název napovídá jedná se o konstrukci tiskárny ve tvaru kostky. Tiskárna je většinou sestavena ze standardizovaných hliníkových profilů. Velikost tiskové plochy udává celkové rozměry tiskárny. Pokud tedy chceme tisknout v osách X a Y například 350 mm x 350 mm, celková velikost tiskárny bude větší, aby se tisková hlava dostala až na kraje tiskové podložky. U většiny tiskáren tohoto typu, je podložka stacionární, popřípadě se pohybuje pouze v ose Z. Tisková hlava se pohybuje v osách X a Y a tyto pohyby jsou na sobě nezávislé. To znamená, že každá osa má svůj vlastní pohon.



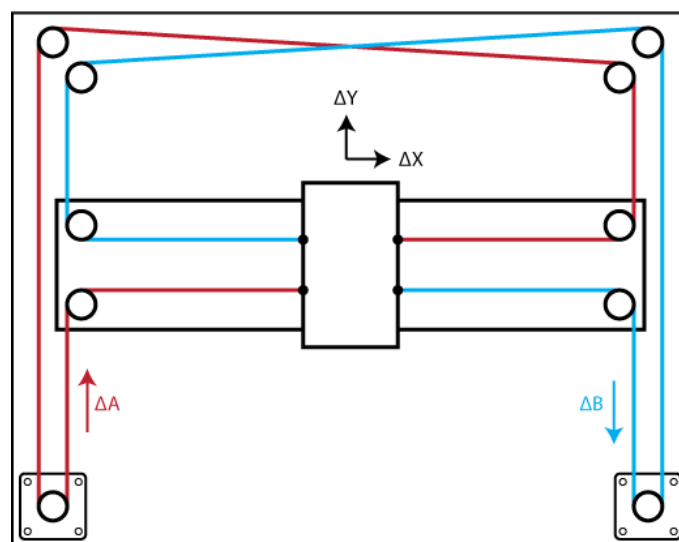
Obrázek 11 3D Systems CubePro Duo

(„3D Systems CubePro Duo”, b.r.)

Tento typ konstrukce je hojně využíván v průmyslových tiskárnách, kdy je nutné dodržet například zakrytované pracovní prostředí stroje kvůli bezpečnostním vyhláškám. V uzavřeném tiskovém prostoru pak můžeme řídit například teplotu, která je důležitá při tisku některých materiálů. Ve specifických případech se můžeme setkat s vytvářením ochranné atmosféry uvnitř tiskárny, ať už z důvodu kontaminace výrobku nebo nutnosti naplnění prostoru inertními plyny a vytvořením tak vhodného prostředí pro specifické materiály jako jsou kovy, biokompatibilní materiály nebo aerogely.

1.2.6.3 CoreXY

Z pohledu konstrukce vychází z typu kostka. Podstatným rozdílem je pohyb v osách X a Y. Na tomto pohybu se současně podílejí dva motory.



Equations of Motion:

$$\Delta X = \frac{1}{2}(\Delta A + \Delta B), \quad \Delta Y = \frac{1}{2}(\Delta A - \Delta B)$$

$$\Delta A = \Delta X + \Delta Y, \quad \Delta B = \Delta X - \Delta Y$$

Obrázek 12 Princip pohybu CoreXY

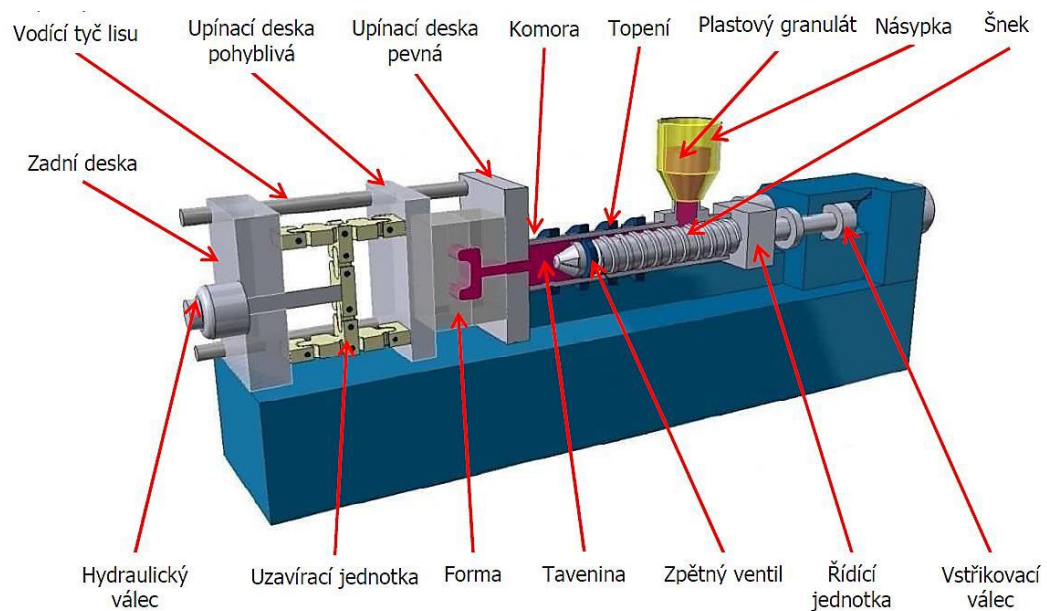
(Moyer, 2012)

1.3 Vstřikovací lis

Další metoda vhodná pro zpracování výrobků je založena na vstřikování roztaveného materiálu vysokou rychlostí a pod tlakem do obvykle temperované dutiny formy. Tento proces je zajišťován vstřikovacím lisem, který je řazen mezi mechanické tvářecí stroje. Vstřikovací lis zhotovuje výrobky dvojího charakteru. V prvním případě se může jednat o finální výrobky nebo polotovary pro další zpracování. Výrobky ze vstřikovacího lisu se vyznačují poměrně vysokou přesností. Zároveň pozorujeme velmi dobrou opakovatelnost fyzikálních a mechanických vlastností.

Vstřikovací lis se skládá z následujících hlavních částí:

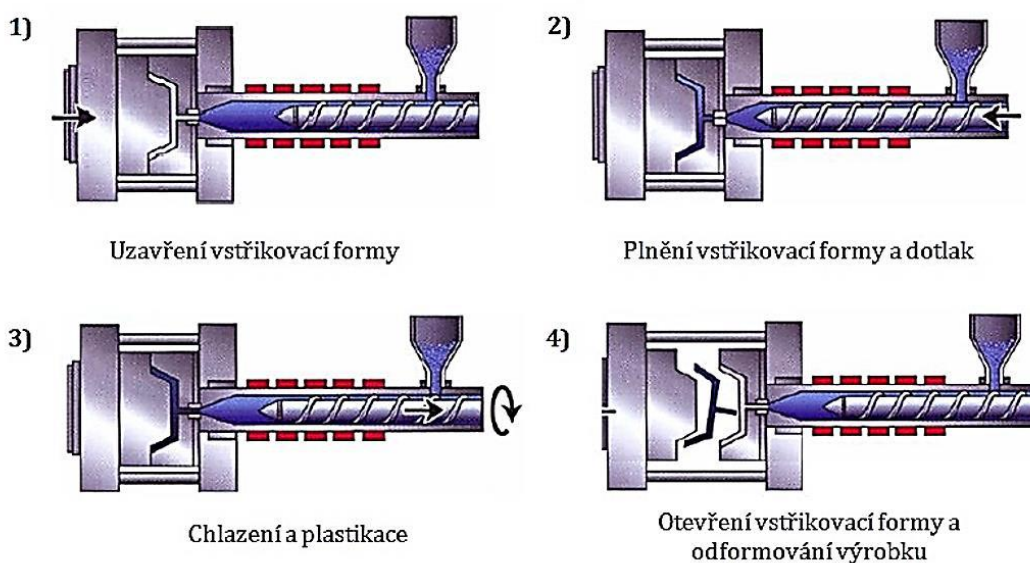
- Plastifikační jednotka zajišťuje přeměnu z pevného skupenství materiálu na taveninu
- Vstřikovací jednotka dopravuje taveninu materiálu vysokou rychlostí a pod tlakem do dutiny formy
- Forma je část vstřikovacího lisu, kde výrobek vzniká a jejíž provedení udává tvar vyhotovovanému výrobku
- Uzavírací jednotka zajišťuje uzavření formy, její zatěsnění a zároveň musí odolat tlaku, pod kterým je výrobek zhotovován
- Vstřikovací tryska zprostředkovává průchod taveniny ze vstřikovací jednotky do formy (Marek, 2020)



Obrázek 13 Vstříkolis
(Marek, 2020)

Proces vstřikování je uveden na obrázku níže a je rozdělen do několika fází:

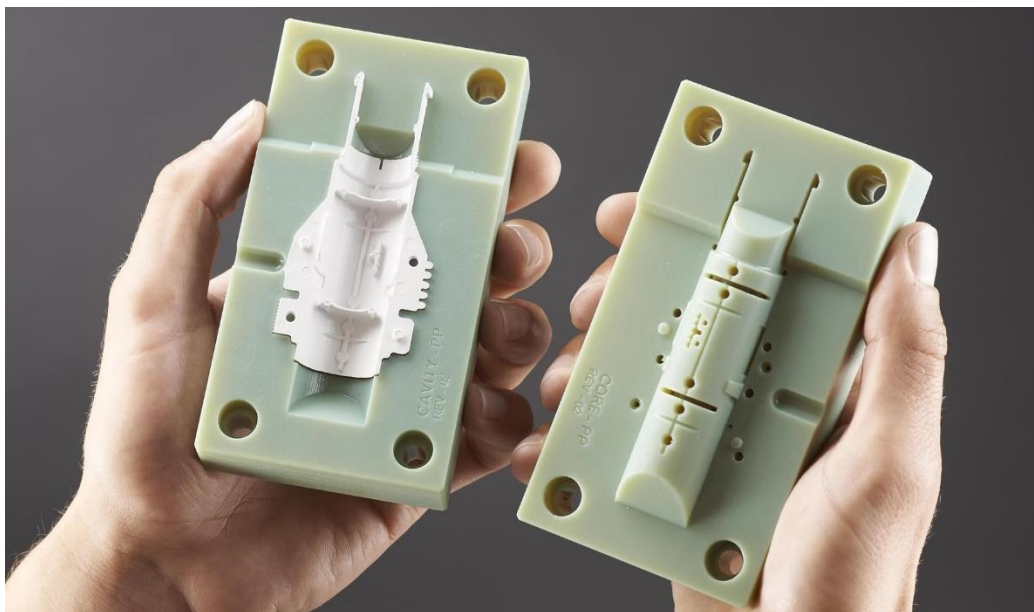
- Uzavření vstřikovací formy
- Plnění vstřikovací formy a dotlak
- Chlazení a plastifikace
- Otevření vstřikovací formy a odformování (Marek, 2020)



Obrázek 14 Proces vstřikování

(Marek, 2020)

Vstřikovací forma patří mezi jednu z nejdůležitějších částí vstřikovacího lisu, jelikož udává tvar finálního výrobku. Jedná se o půlenou formu, která se skládá ze dvou dílů. Po jejich složení vznikne vtokový kanál, kterým se dopravuje tavenina. Vtoková soustava (část, která nemá být součástí finálního výrobku) je následně po procesu vstřikování odštířena. Vstřikovací forma je vyráběna zákazníkovi na míru například pomocí CNC technologie a jejím prostřednictvím je vyhotoven požadovaný výrobek. Na vstřikovací formě je složité provést jakékoliv dodatečné úpravy, proto je nutné mít finální verzi požadovaného výrobku při zadávání formy do výroby. Tento typ výroby je vhodný spíše pro velké série výrobků.



Obrázek 15 Vstříkovací forma vyrobená pomocí 3D tisku
(Honrubia, 2016)

Vstupní surovinou pro vstřikování a výrobu plastových dílů je plastový granulát. Granulát je nabízen v široké škále barev nebo typů materiálu a může být míchán pro vytvoření požadovaného efektu. Stejný granulát může být využit pro výrobu filamentů, které se používají při 3D tisku. Vstříkovací lisy disponují i možností zpracování kovových materiálů jako je například hliník.



Obrázek 16 Granulát
(„Plastový granulát”, b.r.)

1.4 CNC obráběcí stroj

Poslední technologickou metodou pro zpracování materiálu do požadovaného tvaru a vlastností je metoda třískového obrábění plastů. Tato metoda je vhodná zejména pro kusovou a malosériovou výrobu. Výchozím materiálem pro obrábění mohou být například tyče, desky, kvádry atd.

Princip je založen na odběru materiálu pomocí nástroje ve formě třísek pro získání požadovaného tvaru. Proces výroby finálního produktu na obráběcím centru může proběhnout celý. Tím je myšleno, že do CNC vložíme surový materiál a postupným odebíráním z něj vytvoříme výrobek, který byl požadován. Druhou možností je následná úprava povrchu z předchozí technologické operace.

Na 3D Expu v Německu jsem se setkal s technologií, která kombinovala aditivní technologii a CNC. Jednalo se o nastřelování materiálu vysokou rychlostí na podložku, kdy bylo docíleno hrubého tvaru výrobku, který byl následně obroben na CNC do finální přesné podoby.

Obrábění plastu funguje na stejném principu jako klasické třískové obrábění, ale s rozdílem ve velikosti řezných a upínacích sil, popřípadě rychlosti otáček. Pro zpracování plastu jsou využity jiné přípravky na upínání obrobku, např. vakuové. Hlavním důvodem jiného upínání obrobků je z důvodu jejich tvrdosti, kdy při upnutí do klasického přípravku by byl obrobek poškozen.



Obrázek 17 Pětiosé CNC
(„Pětiosé CNC”, b.r.)

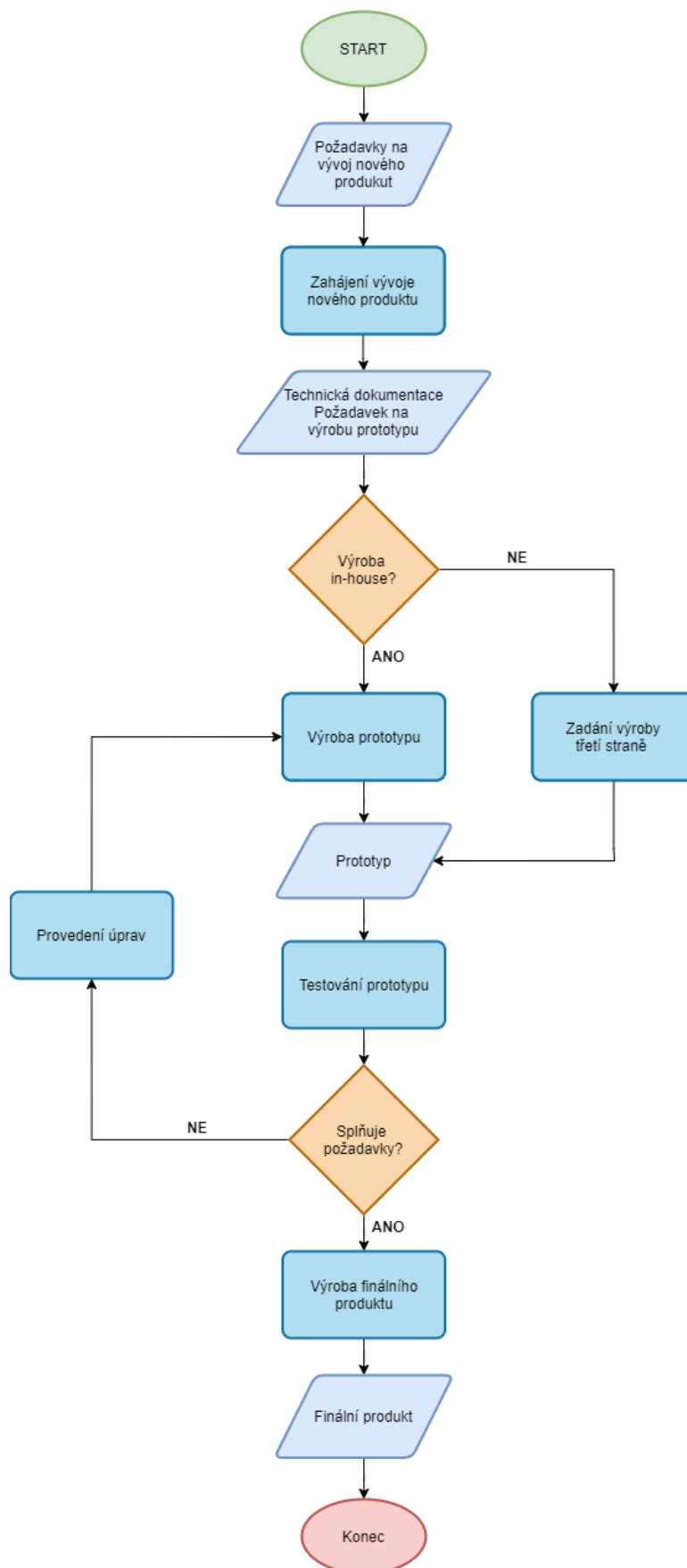
Nástroje využívané pro obrábění plastů jsou obdobné jako pro obrábění kovů. Nejčastěji využívanými jsou nástroje frézovací, vrtací nebo pro výrobu závitů. Při obrábění plastů je nutné, co nejvíce omezit vznik tepla vytvořený třením nástroje o obrobek, které je nežádoucí. Vznik a přenos tepla do obrobku způsobuje měknutí materiálu.



Obrázek 18 Nástroje pro CNC obrábění
(„Nástroje pro CNC obrábění”, b.r.)

1.5 Popis standardního postupu prototypování

Z oddělení vývoje nebo od zákazníka přijde požadavek na výrobu produktu, který spouští proces prototypování. Prvním předpokladem je vytvoření technické dokumentace výrobku a zadání požadavků na výrobu prototypu. Je potřeba posoudit, jestli podnik disponuje potřebnými technologiemi nebo bude potřeba zadat výrobu třetí straně. Pokud výroba může proběhnout in-house, je vyroben prototyp, který je následně testován. Pokud splní požadavky může se přistoupit k výrobě finálního produktu. Pokud je nutné výrobu zadat třetí straně, je podnik závislý na dodání prototypu a doba výroby se tak může prodloužit vzhledem k vytíženosti kapacit třetí strany. Po výrobě in-house nebo dodání třetí stranou je prototyp otestován, případně jsou provedeny potřebné úpravy a může se přistoupit k výrobě finálního produktu. Na konci tohoto procesu je výstupem finální produkt.



Obrázek 19 Vývojový diagram prototypování

2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

2.1 Srovnání nejpoužívanějších materiálů

2.1.1 PLA – kyselina polyléčná

Základní materiál, který je jednoduchý na tisk. Při tisku vyžaduje vyhřívanou podložku o teplotě 50-60 °C a trysku 190-220 °C. Má nízkou deformační teplotu a to cca 60 °C. PLA je velmi tvrdé a vrstvy dobře drží při sobě, na druhou stranu je docela křehké a při nárazu se roztrhne. Dá se využít při odlévání metodou vytavitelného modelu, kdy se použije model tištěný právě z PLA. Tento postup má jednu nevýhodu a to, že po vytavení PLA zůstane jemný popílek. Cena materiálu se pohybuje od 300-700 Kč za 1 kg.

2.1.2 PETG – polyethyltereftalát

Jedná se o pokročilejší materiál. Je chemicky odolný, je více houževnatý a pružnější oproti PLA. Při tisku vyžaduje vyhřev podložky na 80-100 °C, trysku 230-250 °C a není vyžadována uzavřená komora. Teplota při, které se začíná materiál deformovat se pohybuje od 70 do 80 °C. Je vhodný pro odlévání metodou pŕlené formy. Cena materiálu se pohybuje od 480-1000 Kč za 1 kg.

2.1.3 ABS – akrylonitrilbutadienstyren

Nejznámější materiál a běžně používaný ve všech odvětvích průmyslu. Jeho mechanické a fyzikální vlastnosti ho umožňují použít na výrobu koncových produktů jako jsou například díly používané v automobilovém průmyslu nebo kostičky LEGO. Při tisku vyžaduje vyhřev podložky na 80-100 °C, trysky na 220-240 °C, ale oproti předchozím materiálům vyžaduje uzavřenou a ideálně i vyhřívanou komoru. ABS lze vyhlazovat acetonem a je tak možné dosáhnout vysoké pevnosti díky dokonalému spojení vrstev, což s sebou přináší i hladký lesklý povrch, na úkor ztracení jemných detailů. Deformační teplota se pohybuje okolo 100 °C. Cena materiálu se pohybuje od 300 do 1500 Kč za 1 kg.

2.1.4 ASA – akrylonitril-styren-akryl

Prakticky se jedná o vylepšené ABS. Mezi hlavní přednosti patří UV odolnost a vysoká teplotní odolnost. Speciálně upravená ASA s označením ASA275 umožňuje i tisk bez uzavřené komory. Tím se tento materiál posouvá mezi tiskové materiály, ze kterého jsou výtisky ihned aplikovatelné i v prostředí, kde se vyskytuje vyšší teplota a stálé UV záření, jako jsou například doplňky na karoserii automobilu. Při tisku klasická ASA vyžaduje teplotu podložky okolo 90 °C, teplotu trysky cca 250 °C a uzavřenou, ideálně vyhřívanou komoru na 40 °C. ASA275 se dá tisknout na klasické nastavení pro PLA, a to i bez uzavřené komory. Cena za klasickou ASA se pohybuje od 500-800 Kč za 1 kg. Cena za ASA275 je mezi konkurencí nyní stanovena na 710 Kč za 1 kg.

2.1.5 Nylon (PA)

Nylon patří mezi materiály určené pro pokročilé uživatele. Je náchylný na skladování z důvodu absorbování i vzdušné vlhkosti. Materiál je tzv. hygroskopický. Je nutné ho tedy skladovat ideálně v uzavřeném boxu, společně se silikagelem, který vlhkost absorbuje do sebe. Doporučuje se nylon před samotným tiskem vysušit pomocí sušičky na ovoce nebo je možné použít i běžnou kuchyňskou troubu. Výtisky z nylonu jsou velmi pevné díky vysoké adhezi jednotlivých vrstev, pružné a mají vysokou deformační teplotu okolo 160 °C. Při tisku je nutné zamezit průvanu a ideálně mít tiskárnu s vyhřívanou komorou pro dokonalé spojení vrstev. Při tisku vyžaduje teplotu podložky více jak 100 °C a teplotu trysky od 235 až do 260 °C. Cena materiálu se pohybuje od 1000 až přes 2000 Kč za 1 kg.

2.1.6 Flexibilní materiály

Mezi tyto materiály patří TPU, TPE a další upravené materiály. Jedná se o měkké, flexibilní materiály. Výtisky z nich jsou pružné a tvrdost můžeme ovlivňovat volbou procentuální výplně, popřípadě volbou tvrdosti materiálu. Při tisku vyžadují teplotu podložky cca 50 °C a teplotu trysky 230-250 °C. Tyto materiály jsou k dostání v různých tvrdostech tzv. Shore stupnice, která udává tvrdost. Čím vyšší číslo, tím je materiál tvrdší. Výtisky z flexibilních materiálů se dají použít jako koncové produkty, jako například gripy na motorku, kryty konektorů atd. Cena flexibilních materiálů se pohybuje od 1100-4500 Kč za 1 kg.

2.2 Speciální materiály

2.2.1 Moldlay (Wax-Alike)

V podstatě se jedná o materiál s vlastnostmi vosku. Je předurčen k tisku modelů, které jsou slouženy k odlévání pomocí metody vytavitelných modelů. Tento materiál je velmi nenáročný na tisk. Při tisku prakticky nevyžaduje vyhřev podložky, ale je doporučeno ji vyhřát cca na 40 °C. Teplota trysky stačí cca 180 °C. Hotový model je nutné ihned dále zpracovat nebo jej uložit do chladného prostoru, jelikož i při pokojové teplotě, se časem začne bortit pod tíhou vlastní váhy. Cena za tento speciální materiál se pohybuje okolo 2400 Kč za 1 kg.

2.3 Srovnání zmíněných materiálů

Tabulka 1 Srovnání zmíněných materiálů

Materiál	Podložka [°C]	Tryska [°C]	Komora [°C]	Deformace [°C]	Cena [Kč/kg]
PLA	50-60	190-220	X	60	300–700
PETG	80-100	230–250	X	70–80	480–1000
ABS	80-100	220–240	40–50	cca 100	300–1500
ASA	+ 90	250	40-50	100–110	500–800
ASA275	55	220	X	100	710–850
Nylon	+ 100	250–270	40–50	160	1000–2000 +
TPU	30-50	200–220	X	80–100	1100–4500
Moldlay	40	180	X	25	2400

Z tabulky a jednotlivých popisů materiálů vyplývá, že nejlépe poměr cena výkon vychází materiály PLA, PETG a ASA275. Řekl bych, že tyto materiály běžnému uživateli vystačí jak na výrobu prototypů, tak i koncových produktů. Dražší materiály už většinou používají pokročilí uživatelé, kteří vyžadují od výtisků vyšší teplotní odolnost, pevnost a tak dále. Z pravidla se jedná o společnosti zabývající se modelováním a 3D tiskem na zakázku a tyto materiály využívají při výrobě finálních produktů pro svoje klienty.

2.4 Srovnání jednotlivých typů tiskáren

Rozdíly v konstrukci tiskáren umožňují uživatelům zrychlit tisk nebo dovolí tisknout vysoké modely se stejnou kvalitou od začátku až do konce. Na tyto rozdíly bych se chtěl v této kapitola zaměřit.

Pro správné pochopení je nutné vysvětlit 3 základní pojmy, které tiskárna využívá při pohybu.

Rychlost tisku je maximální rychlost pohybu v jednotlivých osách, kterou má tiskárna povolenou dosáhnout. Něco jako maximální rychlost v autě.

Akcelerace, udává rychlost, s jakou se hlava začne pohybovat neboli zrychlovat. Čím vyšší je hodnota akceleraace povolena, tím rychleji tiskárna dosáhne maximální rychlosti tisku.

Jerk není úplně jednoduché popsat. Je to hodnota, která udává to, jestli je při pohybu potřeba snížit, popřípadě zvýšit rychlost pohybu. Hlídá, zda je možné provést změnu směru při aktuální rychlosti a tuto rychlost si při změně směru pohybu zachovat.

2.4.1 Kartézská konstrukce

Jako první rozeberu klasickou kartézskou konstrukci, kde se podložka pohybuje v ose Y a tisková hlava v osách X a Z. Vyhřívaná tisková podložka na standardně velké tiskárně (jako standardní velikost беру velikost Prusa MK3S+) je kolem 300-400 g včetně tiskového plátu, který se na podložku přichytává pomocí magnetů. To znamená, že se v ose Y pohybuje hned od první vrstvy objekt, který váží do 500 g. S postupem tisku, kdy přibývají jednotlivé vrstvy modelu a další podpůrné struktury tato hmotnost nabývá na velikosti a tím se zvyšuje celková hmotnost, která se v ose Y pohybuje. Čím těžší máme objekt, který se pohybuje jakýmkoliv směrem, tím nižší hodnoty jsme nuceni použít, aby na výtisku nevznikaly různé defekty, které jsou způsobené právě změnou směru pohybu a následnou rezonancí, popřípadě setrvačností tělesa. To znamená, že tato konstrukce, je více náchylná na vznik těchto chyb v modelu, a to kvůli vysoké váze, která se v ose Y pohybuje a čím je tištěný objekt vyšší, tím se tyto defekty více projevují. Pro předejití těmto chybám v tisku, můžeme snížit rychlost a další hodnoty pro celý tisk, nebo tyto hodnoty snižovat s výškou modelu. Tuto funkci mají některé slicery.

2.4.2 Delta kinematika

Delta tiskárny mají oproti této konstrukci hlavní výhodu v tom, že podložka, na kterou se model tiskne je stacionární. To znamená, že zde hmotnost a materiál podložky nemá žádný vliv na pohyb. Je tak možné docílit lepšího přenosu tepla mezi topným tělesem a podložkou, ale také lepšího uchování tepla, díky správně zvolenému materiálu podložky a tím i stabilní teploty na podložce. Jediná část, která se při této konstrukci pohybuje je tisková hlava, která váží cca 100g, pokud zvolíme extruder s bowdenem. To je taková sestava kdy se krokový motor s extruderem nachází mimo tiskovou hlavu a je uchycen na nosné konstrukci tiskárny. Při zvolení direct extruderu (uchycení extruderu přímo na hlavě) může tato váha narůst, ale stále se nedostaneme na váhu, kterou jsem uvedl u konstrukce kartézské, tedy na 500 g, popřípadě více. Další výhodou je to, že s výškou modelu se tato váha nezvyšuje a tím je zachována kvalita od začátku až do konce tisku a není potřeba brát ohled na to jak velký, nebo vysoký model tiskneme. Hodnoty, které s touto konstrukcí můžeme používat mohou být tedy vyšší než s kartézskou konstrukcí a tím pádem stejný model bude vytištěn rychleji, popřípadě i s vyšší kvalitou. Delta tiskárny mají samozřejmě i nevýhody, mezi které patří složitost výpočtu nebo náchylnost na nepřesnosti konstrukce. Při kalibraci dochází k počítání úhlů a odchylek, které by měly nedostatky při sestavení tiskárny kompenzovat, avšak i tak je dobré klást důraz na přesnost při stavění tiskárny a na volbu kvalitních materiálů.

2.4.3 Kostka konstrukce

Tiskárny konstrukce kostka, do které spadají další typy, jakou jsou CoreXY, BLV MGN Cube, RatRig atd. se vyznačují tím, že podložka je zde stacionární nebo se pohybuje pouze v ose Z. Tím pádem jsme v podobné situaci jako u tiskáren s delta kinematikou. Váha podložky zde také nehraje roli na volbu rychlosti tisku a je tak možné mít podložku z kvalitního, tepelně vodivého materiálu. Hmotnost hlavy se zde pohybuje okolo 100 g až 300 g. S touto konstrukcí je obvyklejší volba direct extruderu, tedy uchycení extruderu přímo na tiskové hlavě. Toto uchycení má výhodu v tom, že vzdálenost od extruderu (podavače materiálu) není tak dlouhá jako v případě sestavy s bowdenem. Dráha, kterou musí materiál urazit od extruderu k hotendu je tedy minimální a umožňuje tak tisknout flexibilní materiály a není potřeba zde počítat

s prohýbáním materiálu v bowdenu a tím pádem je možné zredukovat například hodnoty retrakce. Retrakce je hodnota, o kterou je materiál povytažen směrem od hotendu, například při přejezdu. Další výhodou této konstrukce je to, že je jednoduché tyto tiskárny zakrytovat a tuto komoru vyhřívat nebo zařízení umístit do výroby, kde je nutné mít pohyblivé části strojů zakrytované.

2.5 3D tisk z ekonomického pohledu

3D tisk je považován za levnou a relativně rychlou metodu výroby. Představa koncového zákazníka / konzumenta, který požaduje službu zakázkového tisku má vidinu pouze hotového výrobku, ale nevidí spoustu práce, která za produktem stojí. Proto bych zde chtěl objasnit některé aspekty, které mají vliv na cenu výrobku. V praxi se setkávám s různým chápáním 3D tisku. Někdo ho vidí jako „vesmírnou“ technologii, protože s ní nikdy nepřišel do styku, někdo má zase představu takovou, že se jedná o jednoduchý proces. Nejhorší představa je taková, že uživatel stáhne model, který „prožene“ slicerem, nahraje ho do tiskárny a za pár hodin je hotovo. S tímto problémem se setkávám často nejen u kamarádů, kteří chtějí něco vytisknout nebo začít tisknout, ale bohužel i u zákazníků. V praxi je 3D tisk relativně složitý proces.

Pokud chce člověk využívat 3D tisk pro realizaci vlastních projektů, je nutné v první řadě umět v nějakém 3D programu jako je například Fusion 360. Samozřejmě lze fungovat i pouze s cizími modely, které dodají zákazníci nebo je stáhnou z internetu, ale v tom případě hrozí riziko, že model spadá pod nějakou licenci, která mi dovoluje si model stáhnout a vytisknout pro osobní účely, ale nedovoluje mi ho dále prodávat.

Dále je potřeba si osvojit pojmy, které se v uživatelském prostředí vyskytují a jsou potřeba k pochopení fungování slicerů. Takovými pojmy jsou například výška vrstvy, šířka extruze, hustota výplně, počet stěn, nastavení podpor, teplot materiálů a spoustu dalších speciálních nastavení, která je potřeba znát a vědět, jak je přizpůsobit konkrétním modelům, aby model po vytištění vypadal dle představ zákazníka a splňoval svoji funkčnost.

Jako další je nutné být schopen si opravit menší provozní závady na tiskárně. Tím člověk předejde odstávkám a prodávám mezi zakázkami. Samozřejmě v některých provozovnách si zaplatí za servisní techniky, kteří při nějakém problému řeší stav ať už po telefonu, nebo přijedou a provedou potřebný servisní zásah.

V neposlední řadě je nutné do ceny tisku počítat čas obsluhy tiskárny, amortizaci stroje, spotřebovaný materiál a elektrickou energii.

Všechny tyto aspekty se musejí odrazit v ceně. Pokud tedy někdo koupí tiskárnu například za 20 000, je možné že bude schopný nabídnout zakázkový tisk levněji než někdo, kdo koupí tiskárnu za 100 000, tento rozdíl se však na ceně promítne minimálně pokud se nejedná o uzavřený systém. Kde se tento cenový rozdíl může hodně projevit, je právě kvalita dodaného výtisku.

To že vytištění jakéhokoliv modelu za sebou skrývá nejen spotřebovaný materiál, ale výše uvedené činnosti, které je nutné do ceny nabízené služby započítat už zákazník nevidí. Nehledě na tvorbu vlastního modelu, kde ceny za započatou modelovací hodinu začínají cca na 500 Kč.

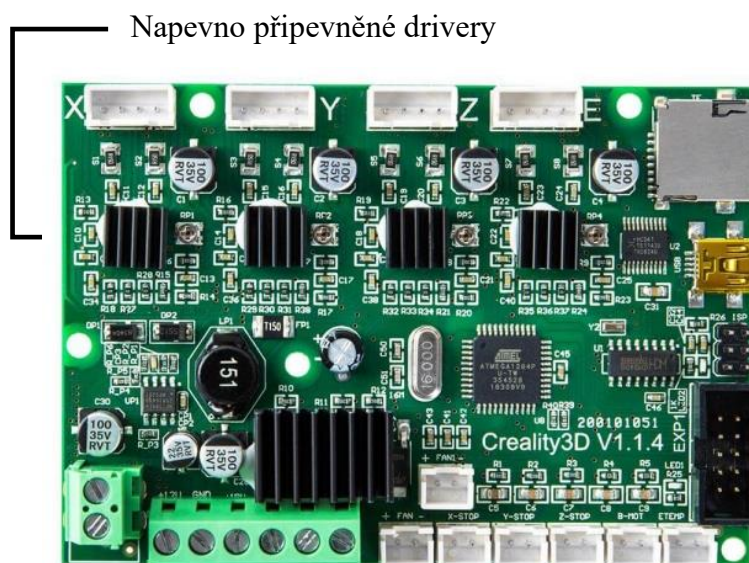
S tímto problémem se setkávám zejména ve skupinách, kde se vyskytují uživatelé 3D tiskáren. Pokud se v takové skupině objeví nabídka produktu, který byl vytvořen pomocí 3D tisku, ale dále byl ještě například broušen a lakován, jeho cena byla nastavena například na 500 Kč, vždy se objeví někdo, kdo si neumí spočítat právě výše uvedené náklady a začne příspěvky komentovat tím, že je schopen to stejné vyrobit za 50 Kč.

To, že ve společnosti existují jedinci, kteří si nedovedou spočítat přidanou hodnotu výrobků, nebo si neváží vlastního času, má negativní vliv na trh. S tímto problémem se setkávám nejen v oblasti 3D tisku, ale i dalších oblastech služeb.

2.6 Typy řídicí elektroniky

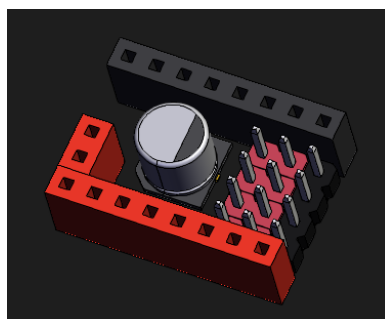
2.6.1 8bitová řídicí elektronika

Mezi nejpoužívanější řídicí elektroniku, která byla používána v 3D tiskárnách byly 8bitové desky s napevno připevněnými drivery. Tyto desky slouží jednomu účelu a jsou designované tak, aby byly co nejlevnější, takže při jakékoliv poruše se je v podstatě nevyplatí ani opravovat a je jednodušší vyměnit celou desku, popřípadě rovnou provést upgrade. Příkladem této desky je deska používaná v čínských tiskárnách firmy Creality, která je vidět na obrázku 22.



Obrázek 20 8bitová deska Creality
(„8bitová deska Creality“, b.r.)

S vývojem se ukázalo, že by bylo vhodné mít na deskách patice, které by umožňovaly výměnu driverů dle preference uživatele. Tyto desky jsou stále používány v levnějších tiskárnách.

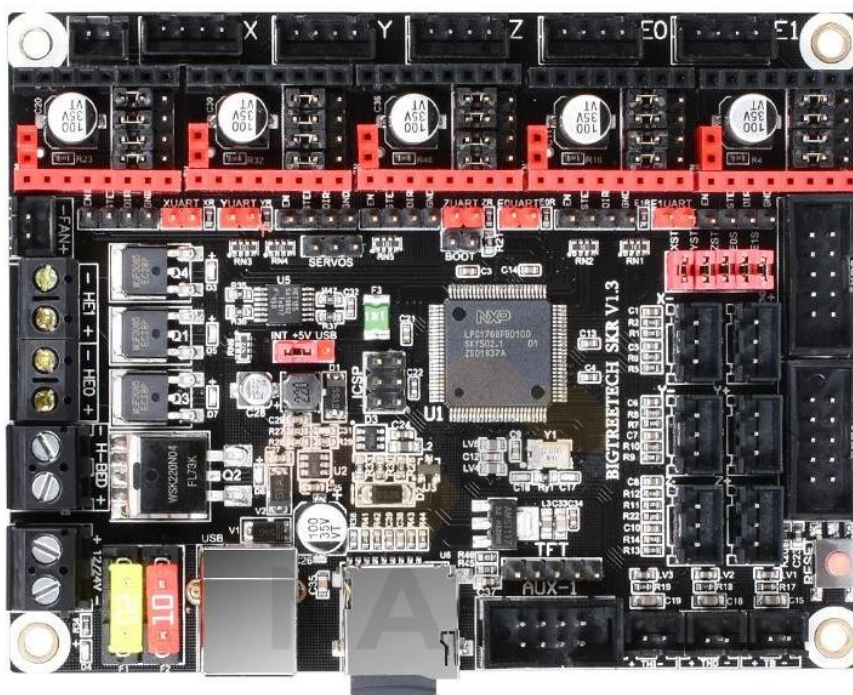


Obrázek 21 Patice pro driver
(Faraut, 2020)

8bitové desky mají nedostatek výkonu například při použití v delta tiskárnách, kde je pohyb složitější na výpočet a při tisku velkých modelů jsem se setkal s tím, že se tiskárna během tisku na pár sekund zastavila a jako by přemýšlela, co má dál udělat. To způsobovalo výrazné chyby na výtisku. Proto bylo potřeba tyto desky nahradit nějakými rychlejšími a výkonnějšími. Tyto desky se daly koupit jako náhradní díl za cenu zhruba 300 až 500 Kč.

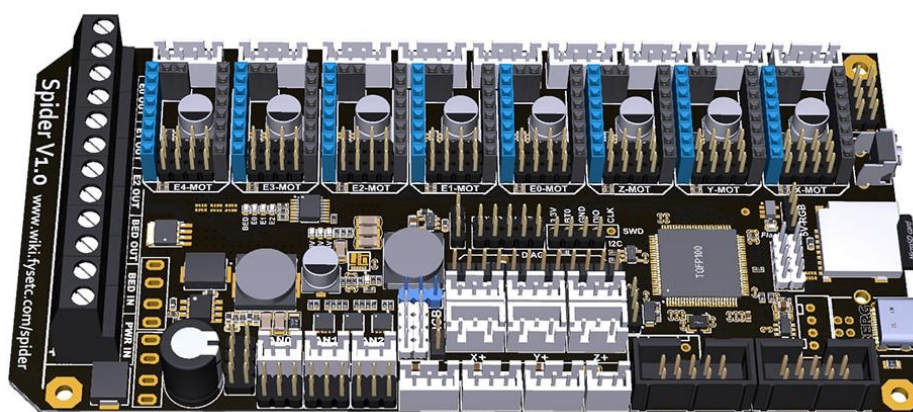
2.6.2 32bitová řídící elektronika

Nástupcem těchto desek se staly 32bitové desky. Díky zjednodušení procesu výroby, klesla cena těchto desek prakticky na stejnou cenu, jako se prodávaly desky 8bitové. Díky tomu se začaly tyto desky osazovat i do levnějších čínských tiskáren. 32bitové desky umožňují připojení více periférií, dokážou zpracovat více informací najednou, a tak nedochází k tomu, že by tiskárny měly nedostatek výkonu. Tento výpočetní výkon zajišťuje mikroprocesor architektury ARM. Mezi nejrozšířenější 32bitové desky patří desky od výrobce BIGTRETECH a to díky relativní spolehlivosti a přijatelným cenám. Jedná se o čínského výrobce, který si desky sám vyvíjí a vyrábí jich širokou škálu. Vyrábí desky, které slouží k výměně kus za kus, bez nutného zásahu do firmwaru nebo desky, které v sobě nemají předkompilovaný firmware a slouží k použití do tiskáren, které si lidé sami navrhnu nebo jsou součástí nějaké open source platformy, jako je například VORON Design. Cenově se tyto desky pohybují od 500 Kč do 3000 Kč.



Obrázek 22 32bitová deska SKR 1.3
(„SKR 1.3”, b.r.)

Na trhu se začaly objevovat nové řídicí desky, které jsou speciálně navrženy pro konkrétní typ tiskáren. Jednou z nich je například Spider V1.0 od firmy FYSETC. Tato deska je předurčená k použití v tiskárnách řady VORON Design a byla vyvíjena s členy teamu, který tyto tiskárny navrhuje. Na této desce můžeme nalézt osm driverů pro krokové motory, a to kvůli tak zvanému „true bed leveling“, kdy je tiskárna konstruovaná tak, že osa Z využívá pro posuv čtyři motory a díky tomu umožňuje jednotlivé rohy podložky automaticky vyrovnat do roviny za pomoci sondy. Jelikož jsou tyto desky předurčeny pro propojení s Raspberry Pi, nejsou tolik nákladné na výrobu a cenově se pohybují kolem 1500 Kč.

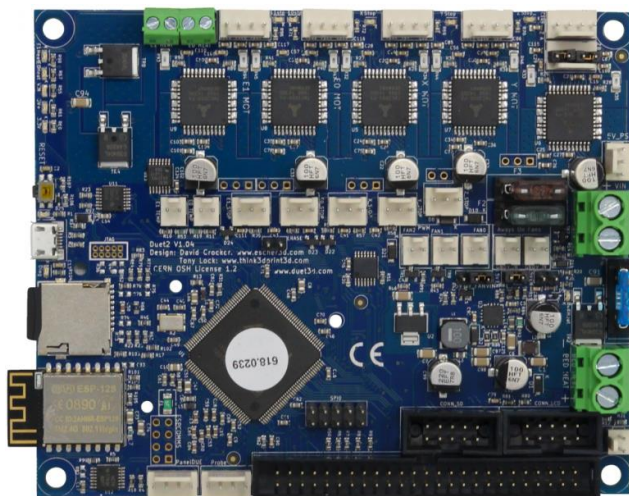


Obrázek 23 Spider V1.0
(„Spider V1.0“, b.r.)

2.6.3 Duet3D

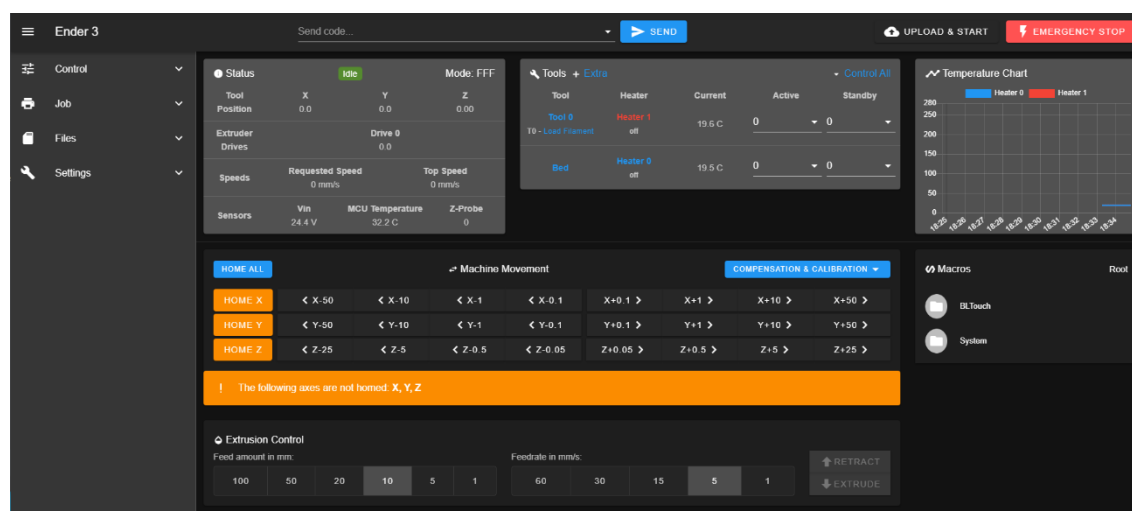
Duet 3D je anglická společnost zabývající se vývojem řídicí elektroniky pro 3D tiskárny. Na rozdíl od ostatních desek, které slouží pouze k řízení tiskárny, tato společnost vyvíjí desky s „all in one“ řešením. Jedná se tedy o desky, které řídí tiskárnu, ale jako sekundární funkci umožňují připojení tiskárny do sítě, bez nutnosti připojení dalšího zařízení. Dále k těmto deskám společnost vyrábí i další rozšiřující desky, díky kterým je možné desku rozšířit o další pozice pro drivery, připojit speciální termistory, dotykové displeje a další. Byli mezi prvními, kdo začal vyvíjet desku s 32bitovým procesorem a stali se tak lídrem na trhu s těmito deskami. Jelikož se ale jedná o „open source“ projekt, tak veškerou dokumentaci k vyvíjeným deskám zveřejňují na svém GitHubu, kde je možné si jednotlivé designy projít a stáhnout. Dokumentace je zveřejňována pod licencí

CERN OHL 1.2. Vytvářené reprodukce by tedy neměli nést loga, které společnost využívá, ale je možné legálně na základě této dokumentace desky vyrábět a prodávat. Duet desky cenově začínají na 4 500 Kč a nevyšší modely se pohybují až okolo 7000 Kč.



Obrázek 24 Duet 2 Wifi
(„Duet 2 Wifi“, b.r.)

Řídící desky Duet využívají vlastní firmware, který se liší od běžných firmwarů svojí lehkou úpravou, v podstatě za provozu tiskárny. Není tedy nutné z desky vytahovat SD kartu, pomocí nějakého editoru upravit kód a opět kartu vrátit do desky. Veškeré tyto úpravy je možné provádět za pomoci webového rozhraní, které Duet desky poskytují.



Obrázek 25 Ukázka webového prostředí Duet3D

Úprava firmwaru spočívá v otevření textového souboru, upravení požadovaných parametrů, uložení souboru a restartování desky. Po restartu si deska sama načte upravený soubor.

3 VLASTNÍ NÁVRHY ŘEŠENÍ

3.1 Ekonomické srovnání cenově dostupné a drahé tiskárny

V této kapitole srovnám dvě tiskárny, které splňují stejné požadavky zákazníka, ale cenově se pohybují v úplně jiných hladinách. Konkrétně srovnám tiskárny Prusa MK3S+ a Stratasys f170. S oběma značkami jsem přišel do kontaktu a na obou tiskárnách jsem měl možnost si vytisknout testovací modely. Jako první bych zhodnotil Prusu MK3S+.



Obrázek 26 Prusa MK3S+
(„Prusa MK3S+“, b.r.)

3.1.1 Prusa MK3S+

Prusa MK3S+ patří mezi nejznámější tiskárnu na trhu. Vyrábí ji společnost Prusa Research, a.s. v Praze. Její hlavní přednost je to, že je jednoduchá na obsluhu, má velkou uživatelskou základnu a dobrou uživatelskou podporu. Je založena na principu RepRap, kde tiskárna reprodukuje tiskárnu. To znamená, že některé díly na tiskárně jsou tištěné a při poškození je uživatel schopen si díly sám vytisknout, popřípadě natisknout díly pro další tiskárnu. K tiskárně je dodáván firmware, který je volně dostupný a průběžně aktualizován a doplňován o nové funkce, které usnadňují obsluhu tiskárny. K dnešnímu dni má Prusa Research vlastní slicer nazvaný PrusaSlicer, který vychází z projektu Slic3r.

Při instalaci si uživatel vybere tiskárny, které vlastní a automaticky jsou mu nabídnuty materiály, které jeho tiskárny podporují a jsou schopny tisknout. Prusa Research si začal vyrábět vlastní filament, u kterého udává toleranci u každé cívky. Do tiskáren je ovšem možné použít jakýkoliv materiál s průměrem 1,75 mm, takže uživatel není odkázaný na drahý očipovaný materiál, jako u některých společností. To, že tiskárna, firmware, software a materiál pochází ze stejné firmy, zaručuje určitou šanci, že je obsluha tiskárny pro uživatele co nejjednodušší, ale neomezuje ho v používání jiných značek materiálů nebo využívání jiných slicerů, které jsou volně dostupné. Cena sestavené tiskárny je 26 990 Kč s DPH (22 306 Kč bez DPH). Tiskárna přijde sestavená v kartonové krabici, stačí ji zapojit do elektřiny, provést úvodní kalibraci popsanou v návodu a tiskárna je připravená k tisku. Cena materiálu, kterému Prusa Research dal název Prusament začíná na 549 Kč s DPH a je možné využít jakýkoliv materiál, který je na trhu dostupný. Náhradní díly je možné koupit originální přímo od Prusa Research, ale nikdo žádným způsobem nebrání uživatelům v úpravách tiskárny, nebo ve výměně dílů za díly třetích stran, které mohou být kvalitnější, nebo mohou uživateli přinést jisté výhody, oproti základní sestavě.

3.1.2 Stratasys f170

Tuto tiskárnu jsem si vybral záměrně, a to z toho důvodu, že byla nainstalována na VUT Fakultě podnikatelské 6. května 2019. Jedná se o vybavení specializované učebny, která má za úkol studentům ukázat, jak probíhají jednotlivé procesy ve firmě, nebo společnosti. Z důvodu mých zkušeností jsem byl přizván k instalaci této tiskárny, která proběhla v již zmíněný den. Na první pohled tiskárna vypadala kvalitně a slibně. Ovšem věci uvedené školitelem mě přímo šokovaly. Jedná se o tiskárnu se zakrytovaným tiskovým prostorem o rozměrech 254 x 254 x 254 mm. Tiskárna má vlastní úložný prostor na příslušenství nebo na skladování materiálů. V jedné zásuvce se skrývá prostor, kam se vkládá materiál určený pro tisk.

Materiál, který tiskárna podporuje pochází od firmy Stratasys a není možné použít jiný materiál. Dodávaný materiál je navinut v zakrytovaných kazetách, které jsou očipované a tiskárna po vložení pozná jaký materiál byl vložen.

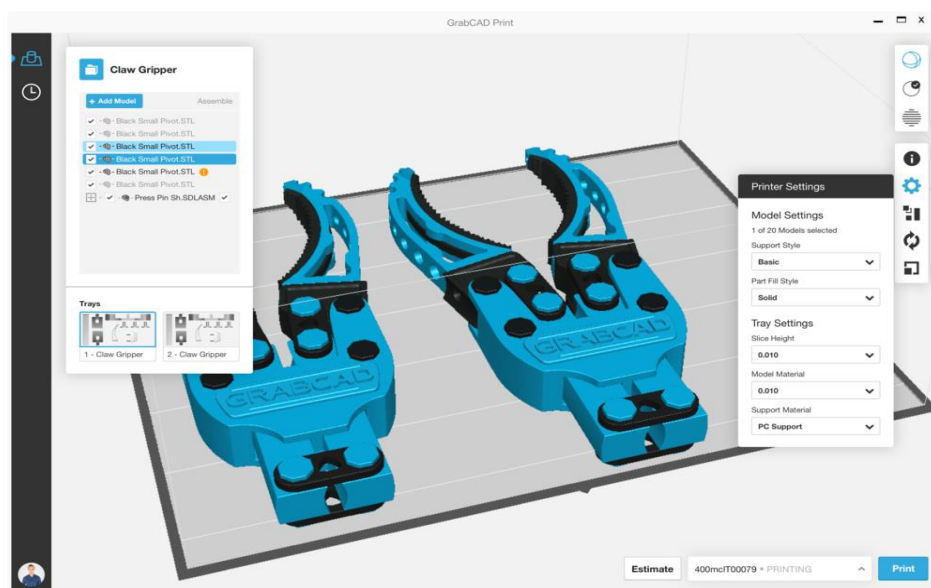
Tiskové hlavy jsou zde výměnné, avšak ne za účelem usnadnění například výměny trysky, ale za účelem výměny již opotřebované tiskové hlavy za novou. Hlavy se zde

vyskytují 3. Jedna je určena pro tisk materiálu, ze kterého je výsledný model, druhá slouží k tisku podpůrného materiálu a třetí slouží jako chladicí modul. Každá hlava má dedikovaný materiál, pro který je určena a při výměně materiálu je nutné vyměnit i tiskovou hlavu. Cena tiskové hlavy je cca 25 000 Kč a doporučený výměnný interval kterékoliv hlavy je 1500 hodin.



Obrázek 27 Stratasys f170
(„Stratasys f170“, b.r.)

Dále se dostáváme k samotné tiskové podložce, která je zajímavá tím, že to není souvislá rovina, ale jedná se o děrovanou plastovou podložku. Informace sdělené školícím technikem mi vyrazila dech. Podložka je určena k jednorázovému použití a poté je určena k likvidaci. Cena tiskové podložky je cca 4000 Kč za 16 ks těchto jednorázových podložek, což je v přepočtu 250 Kč za 1 kus. Příprava tisku probíhá ve sliceru jak jinak než dodaným firmou Stratasys. Vytvořený program má speciální koncovku a tiskárna podporuje pouze tento slicer a žádný jiný. Nastavení v tomto sliceru je velice strohé a uživatel má na výběr pouze z mála přednastavení tisku. S podobným systémem jsem se setkal na mojí první tiskárně od firmy 3D Systems, která aktuálně leží ve sklepě a nepoužívá se z důvodu drahého provozu a nedostatečných uživatelských možností.



Obrázek 28 GrabCAD Print
(„GrabCAD Print”, b.r.)

Mezi další šokující informace patří to, že tiskárna umí sice tisknout ABS materiál, ale nedovolí ho tisknout bez rozpustných podpor. Materiál, který se pro tisk rozpustných podpor využívá je standardně řazen mezi drahé materiály, jejichž cena přesahuje 2000 Kč za 1 kg. V tomto případě se bavíme o ceně 242 \$ za cívku materiálu, což je při dnešním kurzu 21 Kč za 1 USD cca 5000 Kč za cívku.

Před samotným začátkem tisku si musí tiskárna vytvořit rovinu, právě z rozpustného materiálu, protože jak bylo zmíněno, tisková podložka není rovina, nýbrž děrovaná plastová destička. Z téhož materiálu také tiskne podpůrné struktury. Tiskárna tak netiskne model přímo na tiskovou podložku, ale tiskne na strukturu, kterou si pod modelem vytvoří.

Po vytištění modelu je nutné použít speciální roztok ve kterém je možné rozpustné podpory z modelu vyplavit. K urychlení procesu je k tiskárně jako možnost dodat ultrazvukovou čističku.

Stále mi nejde do hlavy, z jakého důvodu by někdo pořídil tiskárnu v hodnotě osobního automobilu (cca 530 000 Kč), která nenabízí nic navíc, ale naopak odkazuje uživatele na používání materiálu dodávaného výrobcem tiskárny, donucení uživatele používat dedikovaný slicer, nutnosti tisku z drahého rozpustného materiálu i při tisku jednoduchého modelu, kde není nutné podpůrné struktury vůbec využívat.

Pokud budu chtít udělat ekonomické srovnání těchto 2 tiskáren, skončím hned u vkládání podložky do tiskového prostoru, jelikož 1 podložka stojí 250 Kč. Při vložení a odepsání této tiskové podložky jsem okamžitě přesáhl veškeré náklady, které by mi vznikly vytisknutím celého modelu na Prusa MK3S+, i kdyby byl použit rozpustný materiál.

Mám kamaráda, který mimo jiné nabízí zakázkový 3D tisk a nabízí i vlastní 3D modely, které tiskne. Na každé tiskárně přesáhl dobu 62,5 dní několikrát. Například na jedné tiskárně má natisknuto 476 dní tzn., že za tuto dobu by musel tiskové hlavy vyměnit 8x, což je dodatečná investice 200 000 Kč.

Tyto tiskárny se dodávají většinou do společností nebo firem, kde se vypisují veřejné soutěže a podaří se jim nějakým záhadným způsobem tuto soutěž vyhrát. Jako příklad zde uvedu článek, který pojednává o roční zkušenosti a mimo jiné je zde zmíněno, jaké byly požadavky na pořizovaný stroj.

Samotný výběr vhodné tiskárny byl ale také poměrně dlouhý. V Žaluziích NEVA si nejprve udělali menší průzkum mezi možnými prodejci 3D tiskáren a stanovili si základní požadavky, co od tiskárny požadovat. Tisková plocha pro stavbu modelu měla odpovídat alespoň velikosti A4. Hodnota v ose Z měla být mezi 200 až 300 mm. Opakovatelná přesnost tisku musí být $\pm 0,3$ mm. Stěna tištěných dílů nesmí přesáhnout 2 mm a použití UV stabilního materiálu musí být samozřejmostí. („Roční zkušenost se Stratasys f170“, b.r.)

Když pominu to, že tisková plocha f170 je 254 x 254 mm a MK3S+ 210 x 210 mm, splňují požadavky obě tiskárny a z hlediska ekonomického zde není vůbec o čem mluvit. Mimo počáteční investici, která je u Stratasys téměř dvacetinásobná, jsou provozní náklady několikanásobně vyšší než při tisku na MK3S+.

3.2 Možnosti zapojení tiskárny do sítě se standardní deskou

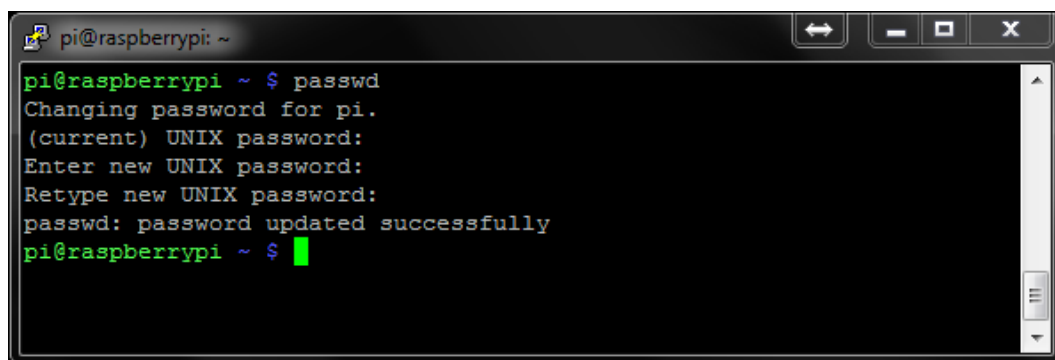
Raspberry Pi (dále jako RPi) je malý počítač, který se využívá v různých DIY řešeních chytrých domácností, serverů nebo sdílených úložišť v rámci lokální sítě. Komunita pro Raspberry vytvořila uživatelské rozhraní, díky kterému je možné sledovat a vzdáleně ovládat jakoukoliv tiskárnu, pokud má port USB. Jedná se o dohledový systém, ve kterém je možné tiskárnu vzdáleně zapnout, spustit tisk, vzdáleně nahrávat tiskové soubory nebo sledovat stav tisku pomocí připojené kamery.

3.2.1 Raspberry Pi + octoprint

Mezi nejznámější a nejjednodušší dohledový systém patří octoprint. Jedná se o propracované webové rozhraní, které je možné na RPi relativně jednoduše nainstalovat. OctoPi je nástavba operačního systému Raspbian. Minimální doporučený model RPi je 3B.

Postup je takový, že z internetu stáhneme složku s obrazem, který následně pomocí speciálního programu balenaEtcher tzv. vypálíme na mikro SD kartu.

Po provedení těchto kroků se vsune SD karta do RPi. Následuje připojení k napájení a během pár minut se systém automaticky nainstaluje. Pokud budeme používat připojení přes wifi rozhraní RPi, je nutné v systémových souborech „octopi-wpa-suplicant.txt“ nastavit jméno a heslo pro konkrétní síť, ke které se má RPi připojit. Tato úprava lze provést v obyčejném poznámkovém bloku. Po chvíli by se mělo RPi objevit v lokální síti. Pro zabezpečení komunikace je doporučeno změnit výchozí uživatelské jméno a heslo pro přístup k RPi. Tato změna se už provádí přes příkazový řádek a pro běžné uživatele se může jednat o komplikaci. Většina uživatelů však tyto údaje nemění a nechává je původní. Tím vzniká riziko, že kdokoliv, kdo má přístup do lokální sítě, je schopen se na RPi připojit a ovládat nejen tiskárnu, ale také může změnit právě tyto údaje a zablokovat tak přístup vlastníkovu serveru.



Obrázek 30 Změna přístupových údajů

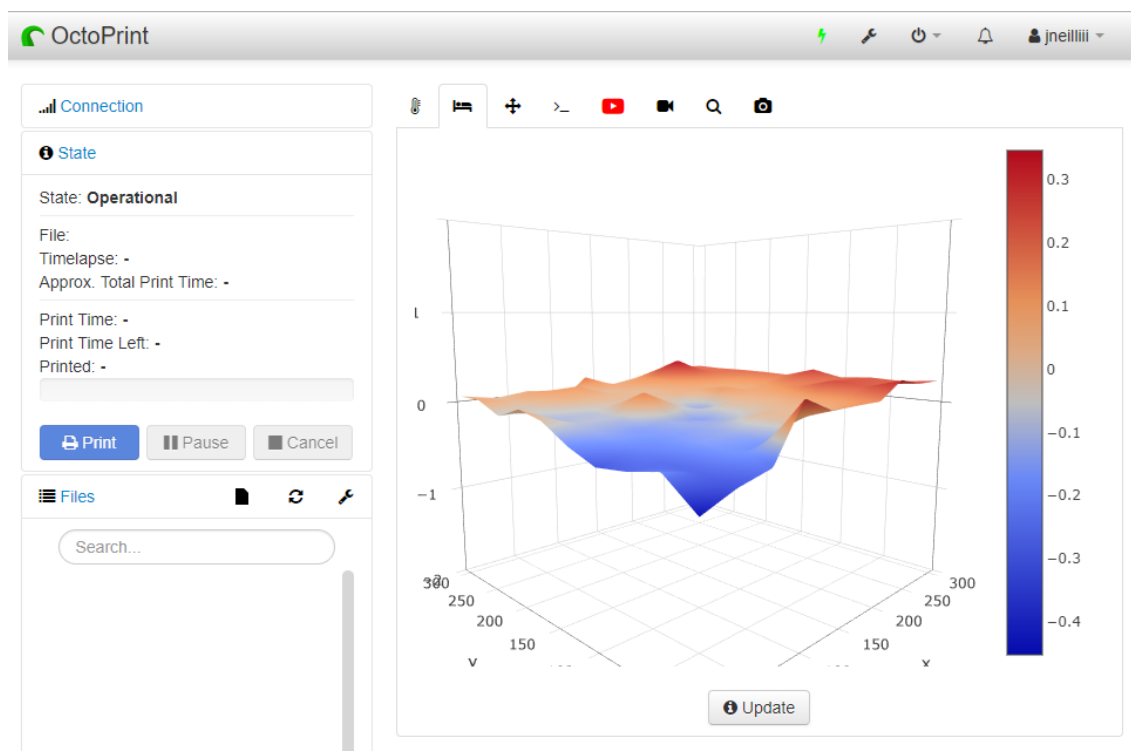
(„Změna přístupových údajů“, 2012)

Nastavení uživatelského rozhraní probíhá v úvodní konfiguraci, která je automaticky spuštěna při prvotním otevření IP adresy serveru v lokální síti. Zde si uživatel nastavuje parametry tiskárny, může připojit kameru pro vzdálený dohled na tiskárnu a může nastavit heslo pro přístup do webového rozhraní.

The image shows the 'Setup Wizard' for OctoPrint, specifically the 'Access Control' step. On the left is a sidebar with links: Start, Access Control (highlighted), CuraEngine (<= 15.04), Default Printer Profile, Server Commands, Webcam & Timelapse, and Finish. The main area has a yellow warning box at the top: 'Mandatory Step! You need to fill this out now.' Below it is the title 'Access Control' and a paragraph explaining that access control is enabled by default to prevent unauthorized access. It asks the user to set up a username and password for an initial administrator account. There are three input fields: 'Username' with 'test', 'Password' with four dots, and 'Confirm Password' with four dots. Below these is a 'Note' about disabling access control and two buttons: 'Disable Access Control' (red) and 'Keep Access Control Enabled' (blue). At the bottom, there is a 'Previous' button, a message 'Unless otherwise noted, you may just skip any wizard page by clicking "Next" or "Finish".', and a 'Next' button.

Obrázek 29 Nastavení rozhraní

(„Nastavení rozhraní“, 2018)



Obrázek 31 Bed Level Visualizer
(„Bed Level Visualizer“, 2018)

Uživatelská základna tohoto rozhraní je obrovská a tím, že se jedná o open source projekt, mohou pokročilí uživatelé doplňovat různé funkce pomocí nejrůznějších pluginů. Mezi nejznámější patří „bed level visualizer“ který umožňuje zobrazení naměřených hodnot při automatické korekci nerovnosti podložky. Instalace pluginů probíhá ve webovém rozhraní a stačí si pouze vybrat jaký plugin chci instalovat.

3.2.2 Raspberry + mainsail / fluid

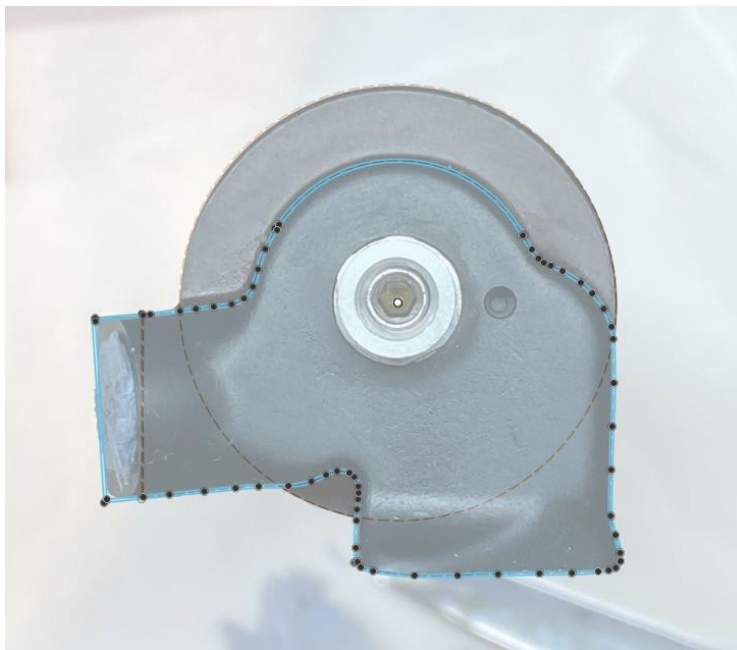
Jedná se o podobný systém, jako je OctoPrint. Jsou předurčeny k použití s firmwarem tiskárny zvaný Klipper. Jejich výhoda je v tom, že tolik nezatěžují procesor a paměť RPi a tato nevyužitá paměť je možná využít k výpočtu pohybů tiskárny. Tyto systémy nejsou mezi uživateli tolik rozšířené, používají je spíše ti, kteří se zabývají stavbou vlastních tiskáren. Znovu jde o open source projekt a uživatelé mohou tyto systémy upravovat, doplňovat o různé pluginy, popřípadě informovat hlavní vývojáře o chybách, které objeví. Vzhledem k menšímu rozšíření je vývoj systému i pluginů o něco pomalejší. Díky menším nárokům na hardware je možné tyto systémy provozovat i na nižších modelech RPi.

3.3 Vytvoření metodiky postupu při vytváření prototypu

Vytvoření prototypu pomocí 3D tisku je vůči standardním metodám rychlý a levný proces. Konečnému výrobku často předchází několik zmetků, které ale vedou k finálnímu produktu. Vzhledem k finanční nenáročnosti je možné tyto testovací kusy vyrobit velmi rychle a levně. Postup výroby uvedu na konkrétním příkladu, kdy mi byla dodána externí expanzní nádoba k olejovému tlumiči na kolo, kde bylo potřeba vytvořit speciální přípravek na povolení vrchní části nádoby.

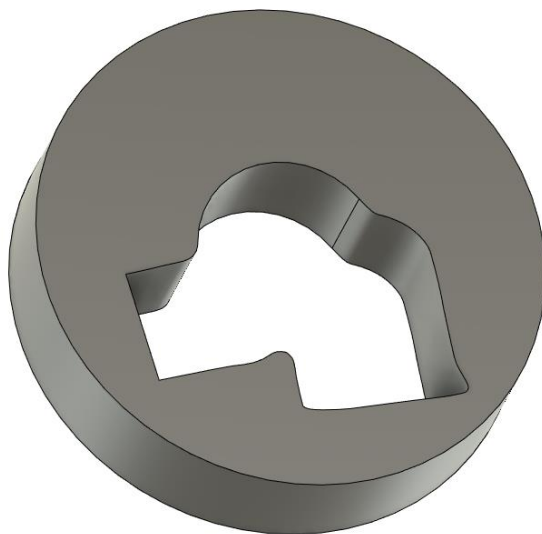
Standardní postup je takový, že za pomoci měřidel jako jsou šuplera, mikrometr, úhloměr, u větších objektů pravítko nebo metr, se změří jednotlivé rozměry dané části. Tedy v tomto případě došlo k přeměření vrchní části, která byla hodně komplikovaná a nebylo jednoduché rozměry změřit tak, aby se rozumným způsobem daly přenést do nákresu. Po přeměření a navrhnutí prvního testovacího kusu jsem tuto metodu musel zavrhnout a zkusit přijít s jiným nápadem.

Zvolil jsem tedy jinou metodu, ve které je využit obrys součásti, vyfocený kolmo shora a následné škálování na reálnou velikost pomocí jednoho přesně změřeného rozměru. Následně jsem změřil jednotlivé rozměry a vynesl je do výkresu, kde jsem fotku použil jako referenční vzor.



Obrázek 32 Referenční foto součásti

Po obkreslení nejdůležitější části, na kterou se přípravek bude nasazovat jsem si vytáhl z nákresu 3D model, který mi bude dostačovat na otestování tolerancí.



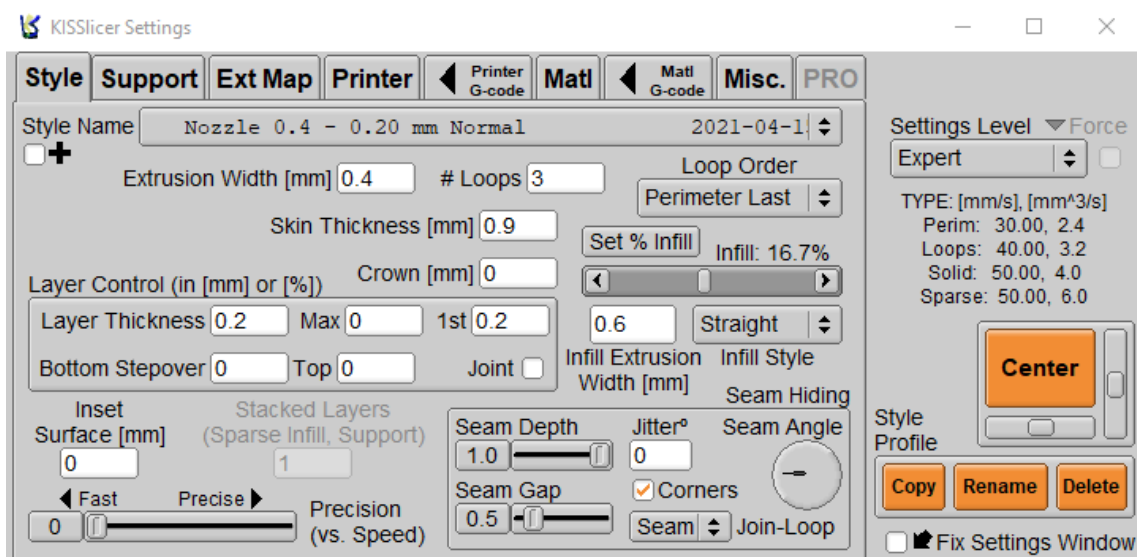
Obrázek 33 Testovací kus

Po vytvoření tohoto základního modelu, jsem si musel vyexportovat tzv. STL soubor. Tento soubor se svými možnostmi upravování podobá textovému souboru PDF. V souboru STL je celý povrch modelu převeden nejčastěji na tisíce až desetitisíce trojúhelníků. S tímto typem souboru se dále pracuje v programu, který model „rozporcuje“ na jednotlivé vrstvy a řekne tiskárně, jak se má pohybovat a jaké hodnoty teplot má použít. Tomuto programu se říká slicer.

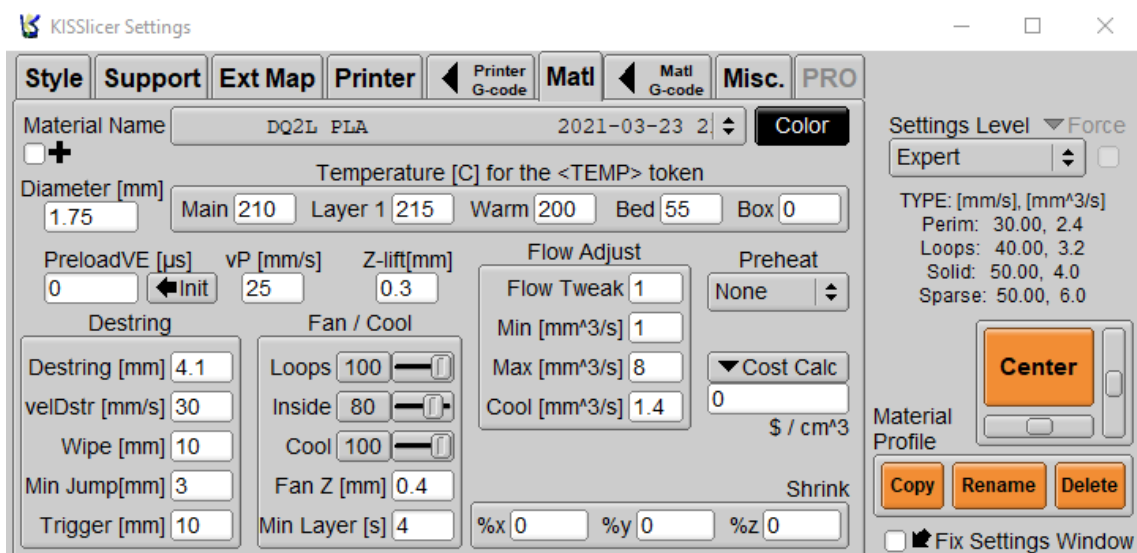


Obrázek 34 Vytvořený STL soubor

Příprava tiskového souboru tzv. GCODE [gékód] nebo také [džíkód]. Pro vytvoření gcodu je možné využít jeden z mnoha programů, které jsou zdarma ke stažení na internetu. Vzhledem ke zkušenostem s programem KISSlicer, jsem zvolil právě tento slicer, ve kterém už mám předpřipravené profily pro jednotlivé tiskárny a materiály. Ve sliceru je potřeba nastavit, jakou výškou vrstvy se má model tisknout, kolik se má vytvořit vnějších stěn, kolik procent výplně má být použito atd.



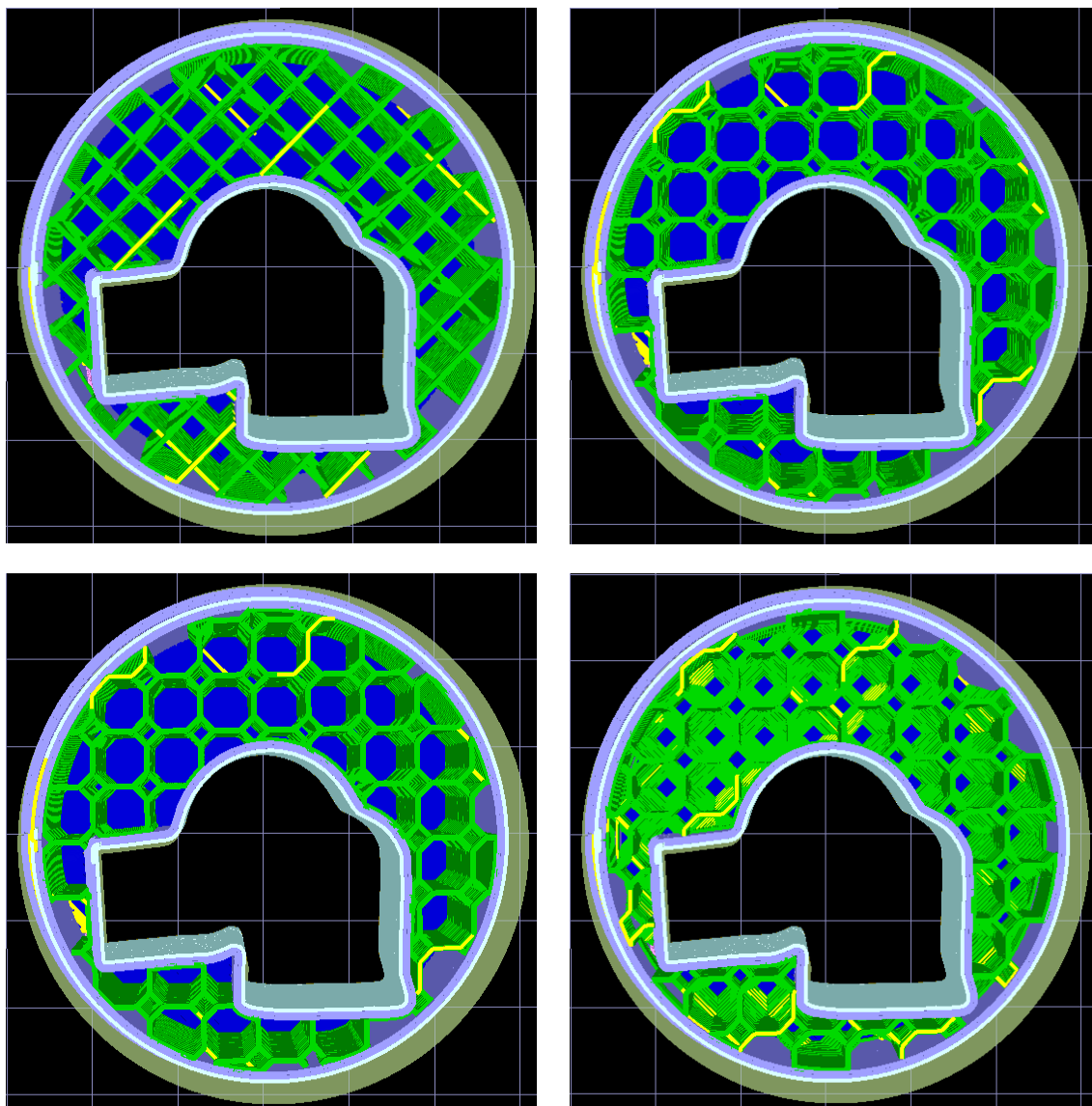
Obrázek 35 Zvolené parametry tisku



Obrázek 36 Zvolené parametry materiálu

V 3D tisku se modely většinou netisknou plné, ale uvnitř modelu se nachází voština, která šetří materiál, ale zároveň díky možné volbě její hustoty, si můžeme redukovat pevnost modelu. Od množství výplně se odvíjí i čas samotného tisku. Jelikož se jedná pouze o testovací kus, nepotřebuji zde pevnost ani tuhost, takže mohu zvolit hodnotu pod 20 procent.

Ukázka typů výplní v KISSlicer



Obrázek 37 Ukázka různých výplní

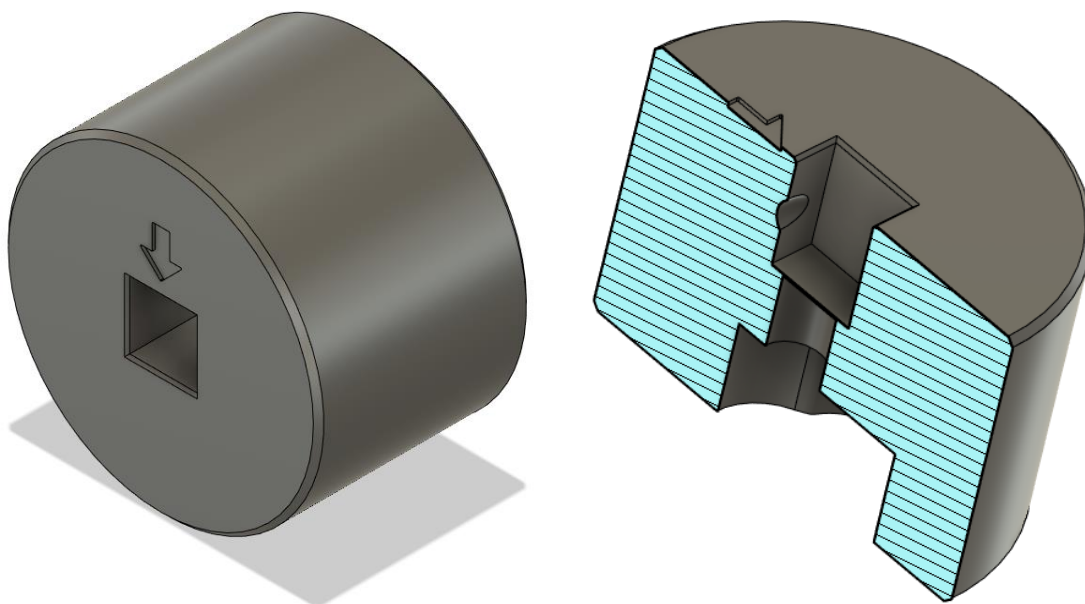
Pro tisk jsem zvolil materiál PLA. Po vytištění, které trvalo cca 50 minut, jsem zkusil napasovat výtisk na expanzní nádobu. Výtisk neseděl přesně, ale díky rychlosti a nízké nákladnosti 3D tisku jsem provedl potřebné změny a mohl dát tisknout nový kus.



Obrázek 38 Testovací kus na expanzní nádobě

Po vytištění ještě několika testovacích kusů a drobných úpravách jsem získal model, který na nádobě seděl přesně. Dalším krokem bylo domodelování uchycení pro ráčnu a vymodelování finální podoby přípravku. Znovu jsem provedl stejné kroky, jako při modelování kusu, který pasuje na expanzní nádobu. Po připravení gcodu a následném vytištění, které trvalo cca 3 hodiny jsem získal finální přípravek, který funguje a díky vhodně zvolenému postupu, materiálu a nastavení ve sliceru je opakovatelně použitelný. Po přípravku byla požadovaná menší tvrdost jako materiálu nádoby a jelikož nádoba je ze slitiny kovu, tak plastový přípravek nebude na nádobě zanechávat stopy, které by

zanechala neodborná manipulace a snaha nádobu otevřít například pomocí kombinačních kleští.

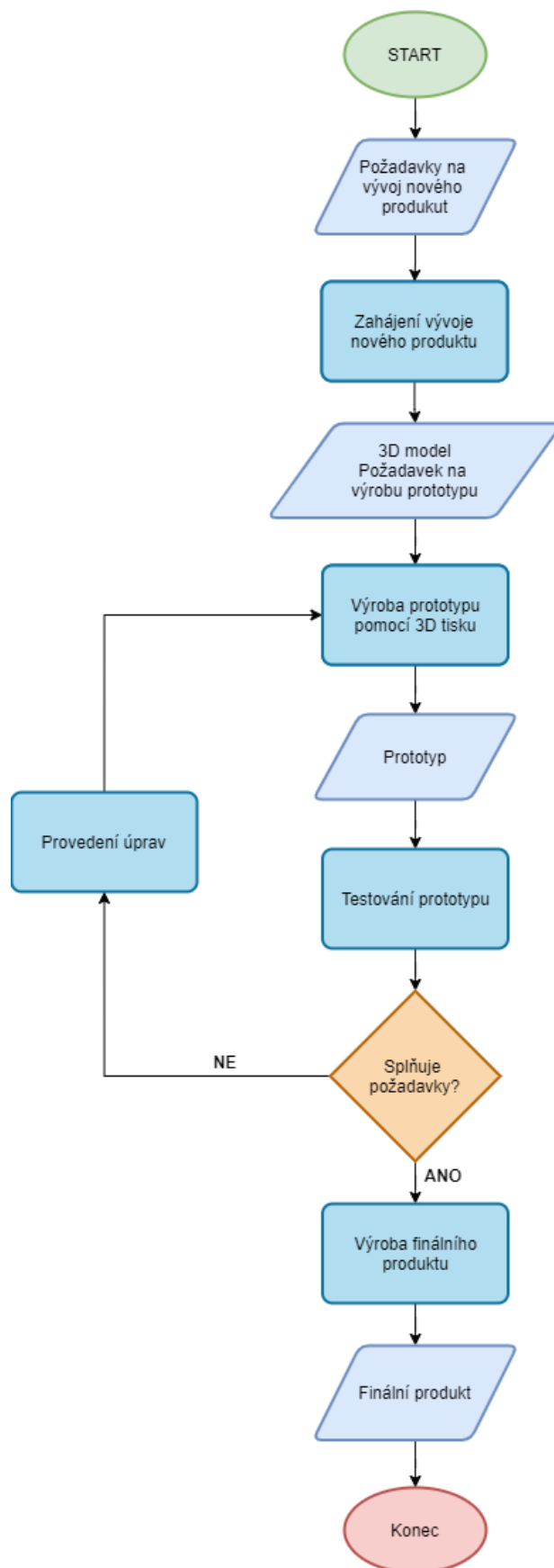


Obrázek 39 Finální model (vlevo) a jeho řez (vpravo)



Obrázek 40 Vytisknutý přípravek na ráčně

Na obrázku 40 je vyfocen hotový přípravek, uchycený na ráčnu. Přípravek byl vytisknut s 33% výplní, pěti stěnami a jako materiál bylo zvoleno PLA kvůli jeho tvrdosti. K použití se nabízelo ještě PETG, ale kvůli jeho pružnosti jsem ho zamítl, protože je zde potřeba přenést co nejvíce krouťícího momentu na expanzní nádobu.



Obrázek 41 Vývojový diagram prototypování pomocí 3D tisku

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce pojednává o možnosti využití 3D tisku v procesu prototypování a samotné výrobě. Popisuje jednotlivé metody 3D tisku, srovnává různé konstrukce tiskáren a vyzdvihuje ty, které mají výhody oproti ostatním. Dále popisuje konvenční metody, které jsou aktuálně využívány ve výrobním průmyslu, jako jsou například vstřikolisy nebo CNC obráběcí stroje. Pomocí 3D tisku je možné vyrobit složité tvary, které je konvenčními metodami nemožné nebo složité vytvořit.

Cílem bylo vytvořit ucelený přehled jednotlivých metod 3D tisku, různých konstrukcí tiskáren a popsat jaké výhody některé konstrukce přinášejí. Uvést čtenáře do problematiky, se kterou se 3D tiskaři setkávají. Jedná se o použití různých materiálů pro různé potřeby, nutnost rozumět principu a nastavení tisku. V práci jsem také srovnal tiskárny s rozdílnou pořizovací cenou, kdy dražší tiskárna byla cca 21krát dražší, ale ve výsledku nepřináší uživateli žádné výhody oproti tiskárně levnější, naopak s uzamčeným systémem je uživatel odkázán na jednoho výrobce. Tím, že výrobce systém uzamkne, si vytváří dominantní pozici na dodávání spotřebního materiálu, což je velká výhoda pro dodavatele, ale uživateli to uškodí, jelikož si v tu chvíli může firma diktovat ceny jaké chce, protože nemá konkurenci.

Osobně jsem se setkal s různými tiskárnami a uzavřený systém nemůže z dlouhodobého hlediska fungovat. Doba návratnosti takového systému je prakticky nekonečná, jelikož stále vyžaduje různé investice v podobě náhradních dílů, které dodává právě jedna společnost.

Při výběru tiskárny bych osobně volil systém, který umožňuje používání všech dostupných materiálů na trhu a nevytváří rádobu „monopol“.

3D tisk se vyvíjí velkou rychlostí a s postupným vývojem se tyto technologie stávají levnější a cenově dostupnější, takže si ho mohou dovolit i malé firmy a díky tomu mohou zrychlit vývoj svých produktů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

3D Systems CubePro Duo. In: *Amazon.in*. (b.r.). -: 3D Systems. Retrieved from: <https://www.amazon.in/CubePro-Personal-3D-Print-Double/dp/B00LLH181G>

8bitová deska Creality. In: *Užitečnosti.cz*. (b.r.). -: Užitečnosti.cz. Retrieved from: <https://www.uzitecnosti.cz/8-bit-deska-CReality-1-1-4-pro-3D-tiskarny-Ender-3-PRO-CZ-d1365.htm>

Ahart, M. (2019). Metody 3D tisku. *Proto Labs Inc.*. Retrieved from: <https://www.protolabs.com/resources/blog/types-of-3d-printing/>

Bed Level Visualizerr. In: *OctoPrint*. (2018). -: -. Retrieved from: <https://plugins.octoprint.org/plugins/bedlevelvisualizer/>

DeltiQ 2 Plus. In: *Materialpro3d.cz*. (b.r.). Brno, Česká republika: Solidify 3D, s.r.o.. Retrieved from: <https://www.materialpro3d.cz/3d-tiskarny/3d-tiskarna-trilab-deltiq-2-plus-novinka/>

Duet 2 Wifi. In: *Duet3D*. (b.r.). -: Duet3D. Retrieved from: <https://www.duet3d.com/DuetWifi>

Faraut, V. (2020). Patice pro driver. In: *grabcad.com*. -: Grabcad. Retrieved from: <https://grabcad.com/library/bigtreotech-skr-v1-4-1>

GrabCAD Print. In: *Technical Training Aids*. (b.r.). -: -. Retrieved from: <https://ttaweb.com/product/grabcad-print-download/>

Historie 3D tisku. In: *Wikipedia: the free encyclopedia*. (2001). San Francisco (CA): Wikimedia Foundation. Retrieved from: https://cs.wikipedia.org/wiki/3D_tisk

Honrubia, M. (2016). Vstříkovací forma. In: *Ennomotive*. -: -. Retrieved from: <https://www.ennomotive.com/revolutionizing-injection-molding-process>

Kinematika - kartézský typ. In: *line.17qq.com*. (b.r.). -: line.17qq.com. Retrieved from: <https://line.17qq.com/articles/saqcueqrx.html>

Konstrukce E3D V6. In: *3DSourced*. (2020). -: 3DSourced. Retrieved from: <https://www.3dsourced.com/guides/best-3d-printer-hot-end/>

Konstrukce PolyJet. In: *Proto3000*. (b.r.). -: Proto3000. Retrieved from: <https://proto3000.com/service/3d-printing-services/technologies/polyjet/>

Konstrukce SLA tiskárny. In: *Formlabs*. (b.r.). Somerville, MA 02143 USA: Formlabs Inc.. Retrieved from: <https://formlabs.com/blog/ultimate-guide-to-stereolithography-sla-3d-printing/>

Konstrukce SLS tiskárny. In: *Formlabs Inc.*. (b.r.). Somerville, USA: Formlabs Inc.. Retrieved from: <https://formlabs.com/blog/what-is-selective-laser-sintering/>

Marek, J. (2020). *Nekonvenční metody obrábění: Vstřikovací stroje (vstřikolisy)*. ([přednáška]). Brno: Vysoké učení technické v Brně.

Moyer, I. (2012). Princip pohonu CoreXY. In: *corexy.com*. -: corexy. Retrieved from: <https://corexy.com/theory.html>

Nastavení rozhraní. In: *OctoPrint*. (2018). -: -. Retrieved from: <https://community.octoprint.org/t/what-am-i-logging-into/2685/2>

Nástroje pro CNC obrábění. In: *Grunler*. (b.r.). -: -. Retrieved from: <https://www.grunler.com/cnc-machining/>

Pětiosé CNC. In: *Houfek a.s.* (b.r.). Golčův Jeníkov, Česká republika: Houfek a.s.. Retrieved from: <https://www.houfek.com/cnc-obrabeci-centrum-proform-x5>

Plastový granulát. In: *Indiamart*. (b.r.). -: -. Retrieved from: <https://www.indiamart.com/proddetail/polymers-plastic-granules-21716274348.html>

Prusa MK3S+. In: *Prusa Research by Josef Prusa*. (b.r.). Praha, Česká Republika: Prusa Research a.s.. Retrieved from: <https://shop.prusa3d.com/cs/3d-tiskarny/181-3d-tiskarna-original-prusa-i3-mk3s.html>

Příklad FDM materiálů. In: *Amazon*. (b.r.). -: Mika3D. Retrieved from: <https://www.amazon.com/Silver-Copper-Filament-Bundle-Printer/dp/B07R6H2T1D>

Roční zkušenost se Stratasys f170. In: *MCAE Systems, s.r.o.* (b.r.). Kuřim, Česká republika: MCAE Systems, s.r.o.. Retrieved from: https://www.mcae.cz/pripadove_studie/rocní-zkusenost-s-provozem-3d-tiskarny-stratasys-f170/

Rozlišení SLA a DLP. In: *Formlabs Inc.* (b.r.). Somerville, USA: Formlabs Inc.. Retrieved from: <https://formlabs.com/blog/resin-3d-printer-comparison-sla-vs-dlp/>

SKR 1.3. In: *na3D.cz*. (b.r.). -: na3D s.r.o.. Retrieved from: <https://www.na3d.cz/p/2700/32-bitova-zakladni-deska-skr-13>

SLA 250. In: *3DSystems*. (b.r.). -: 3DSystems. Retrieved from: <http://www.3dsystems.ru/products/slaseries/sla250/index.asp.htm>

Spider V1.0. In: *FYSETC*. (b.r.). -: FYSETC. Retrieved from: <https://www.fysetc.com/products/pre-sale-fysetc-spider-v1-0-motherboard-32bit-controller-board-tmc2208-tmc2209-3d-printer-part-replace-skr-v1-3-for-voron?variant=39404109201583>

Stratasys f170. In: *Standford Marsh Group*. (b.r.). Worcester, UK: Standford Marsh Group. Retrieved from: https://www.stanfordmarsh.co.uk/stratasys_f170_3d_printer

Tisková farma Prusa Research. In: *Prusa Research by Josef Prusa*. (b.r.). Praha, Česká Republika: Prusa Research a.s.. Retrieved from: <https://www.prusa3d.cz/o-nas/>

Změna přístupových údajů. In: *raspberrypi-spy*. (2012). -: raspberrypi-spy. Retrieved from: <https://www.raspberrypi-spy.co.uk/2012/10/how-to-change-raspberry-pi-password/>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

3D	trojdimenzionální
SLA	z angl. Stereolithography – stereo litografie
CNC	z angl. Computer Numerical Control – počítačem řízený stroj
FDM	z angl. Fused Deposition Modeling – tavení plastové struny a její následné protlačení skrz trysku, která se pohybuje a vytváří vrstvy
SLS	z angl. Selective Laser Sintering – spékání nylonu laserem
DLP	z angl. Digital Light Processing – digitální zpracování světla
LCD	z angl. Liquid Crystal Display – displej z tekutých krystalů
UV	z angl. Ultraviolet – ultrafialové
LED	z angl. Light-Emitting Diode – elektroluminiscenční dioda
LMF	z angl. Laser Metal Fusion – spékání kovů laserem
SLM	z angl. Selective Laser Melting – selektivní tavení laserem
PLA	z angl. Polylactic acid – kyselina polymléčná
PETG	polyetyléntfalát
ABS	akrylonitrilbutadienstyren
ASA	akrylonitril-styren-akryl
PA	polyamid
TPU	termoplastický polyuretan
TPE	termoplastický elastomer
BLV	podle autora konceptu, Ben Levi
ARM	z angl. Advanced RISC Machine
DIY	z angl. Do It Yourself – udělej si sám
RPi	Raspberry Pi
STL	stereolitografie

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 SLA 250	13
Obrázek 2 Konstrukce SLA tiskárny	15
Obrázek 3 Porovnání rozlišení SLA a DLP	16
Obrázek 4 Konstrukce SLS tiskárny	17
Obrázek 5 Konstrukce PolyJet	18
Obrázek 6 Materiál pro FDM	19
Obrázek 7 Konstrukce E3D V6	20
Obrázek 8 Kinematika – kartézský typ	21
Obrázek 9 Tisková farma Prusa Research	21
Obrázek 10 Delta tiskárna DeltiQ 2 Plus	22
Obrázek 11 3D Systems CubePro Duo	23
Obrázek 12 Princip pohybu CoreXY	24
Obrázek 13 Vstříkolis	25
Obrázek 14 Proces vstříkování	26
Obrázek 15 Vstříkovací forma vyrobená pomocí 3D tisku	27
Obrázek 16 Granulát	27
Obrázek 17 Pětiosé CNC	28
Obrázek 18 Nástroje pro CNC obrábění	29
Obrázek 19 Vývojový diagram prototypování	30
Obrázek 20 8bitová deska Crealitiy	38
Obrázek 21 Patice pro driver	38
Obrázek 22 32bitová deska SKR 1.3	39
Obrázek 23 Spider V1.0	40
Obrázek 24 Duet 2 Wifi	41
Obrázek 25 Ukázka webového prostředí Duet3D	41
Obrázek 26 Prusa MK3S+	42
Obrázek 27 Stratasys f170	44

Obrázek 28 GrabCAD Print.....	45
Obrázek 29 Nastavení rozhraní.....	48
Obrázek 30 Změna přístupových údajů	48
Obrázek 31 Bed Level Visualizer	49
Obrázek 32 Referenční foto součástí	50
Obrázek 33 Testovací kus.....	51
Obrázek 34 Vytvořený STL soubor.....	51
Obrázek 35 Zvolené parametry tisku.....	52
Obrázek 36 Zvolené parametry materiálu	52
Obrázek 37 Ukázka různých výplní.....	53
Obrázek 38 Testovací kus na expanzní nádobě	54
Obrázek 39 Finální model (vlevo) a jeho řez (vpravo).....	55
Obrázek 40 Vytisknutý přípravek na ráčně.....	55
Obrázek 41 Vývojový diagram prototypování pomocí 3D tisku.....	56

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Srovnání zmíněných materiálů	33
--	----